



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROPUESTA DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DEL
EFECTO DE APLICACIÓN POR INYECCIÓN DE BIOESTIMULANTES Y
FERTILIZACIÓN AVANZADA AL SISTEMA VASCULAR EN EL CULTIVO DE
PLÁTANO BARRAGANETE (*Musa AAB paradisiaca*)

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero Agroindustrial y Alimentos

Profesora Guía

Ing. Lucia Irene Toledo Rivadeneira

Autor

Pedro Miguel Lafargue Molina

Año

2015

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Ing. Lucia Toledo Rivadeneira

Ingeniera Agropecuaria

CI: 1712638608

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Pedro Lafargue Molina
Ingeniero Agroindustrial y Alimentos
CI: 1716459589

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y en especial a mi querida madre por toda su perseverancia y amor. Verla día a día trabajando por superarse y ser una madre completa, inteligente y bondadosa me ha hecho entender que debo trabajar más fuerte.

Agradezco a todos aquellos que me apoyaron en cierta forma a culminar esta meta y poder ser hoy una persona que puede ayudar a más gente.

"IT IS NEVER TOO LATE TO BE
WHAT YOU MIGHT HAVE BEEN."

George Eliot

RESUMEN

La producción de plátano en el Ecuador y el mundo se encuentran cursando por una fase problemática debido a los cambios de climáticos, estos cambios están afectando a la fertilidad de los suelos y la cantidad de producción. Es por esto que se realizó la investigación sobre la implementación de un modelo matemático que podrá predecir los efectos que los bioestimulantes presentan en el cultivo. Dentro del desarrollo se observa que mediante la modelización de superficies de respuesta, el uso adecuado del nuevo sistema de fertilización avanzado por medio de inyección al sistema vascular de la planta, proporciona un incremento en el desarrollo de la morfología del cultivo de plátano barraganete (*Musa AAB Paradisiaca*).

Los productos Biofork y Biofol del laboratorio Biogeneticagreen C.A otorgan un 46% más de crecimiento foliar a las plantas, mejora que se obtiene en el cultivo luego de aplicar con inyección la combinación óptima de productos. El uso de estos productos reduce el gasto de fertilizantes en un 60% por hectárea brindando al productor un ahorro en labores culturales. Para poder obtener este estándar se realizó el análisis y seguimiento de las variables de desarrollo más importantes que son: área foliar, diámetro de tallo, desarrollo foliar, altura y variación de grados Brix.

El rango de aplicación que se determinó se obtuvo por un análisis de dosimetría, el cual parte de la estimación del fabricante. Se analizó la interacción de dos productos bioestimulantes, Bio fol con un mínimo de aplicación de 5 ml hasta un máximo de 30 ml y Bio fork que se debe aplicar en las matas de mayor edad con una constante de 5 ml por dosis a una concentración que puede variar de 1X como menor y 10X como la mayor.

El resultado de la aplicación de los productos permitió obtener la variable óptima que es el incremento del área foliar, demostrando así que para obtener un mejoramiento del 40% se necesita utilizar Biofol en dosis de 14.30 ml y 5 ml de Biofork a una concentración de 5.84 X. Por lo tanto, el fabricante podría

reducir sus dosis de estimación optimizando los procesos de concentración de Biofork.

ABSTRACT

Green plantain crop production in Ecuador and in the world, are enrolled by the weather changes problem, this is affecting the crop taking it through a problematic stage. These changes are affecting the soil fertility and yield. That is why the research on the implementation of a mathematical model to predict the effects of bioestimulantes in the crops is important. The development and insertion of a mathematical model can be used to predict the bio stimulants effects on the crop. Through the assimilation and development of the mathematical model it can be appreciate how the modeling of the response surface for variables as lead development, lead area, stem diameter, height and variation of brix degrees show an increase and improvement in the abnormal plantains.

Biofork and Biofol, products from Biogeneticagreen C.A provide the plantain crop with an improvement of 46% more in leaf growth, and it can be demonstrated thought the analysis of the optimal treatment with the injections of the right combination. The use of these bio stimulants can reduce in almost 60% the cost of fertilizers providing important savings for the producer. In order to obtain this standard, an analysis and

To obtain this standard, leaf area, stem diameter, leaf development, height and Brix degrees where analyze and monitoring. The range of application that was obtained was determined by an analysis of dosimetry, this one is determinate using the producer product estimate. The interaction of two bio stimulants products where analyzed, Bio fol with a minimal application of 5 ml up to 30 ml and Bio fork to be applied in older plants with a constant dose of 5 ml at a concentration vary as 1X and 10X as the higher value. The result of this product application demonstrate the optimal variable that shows the increased of leaf area , showing that for an improvement of 40% is required Biofol 14.30 ml and 5 ml of Biofork at a concentration of 5.84 X doses. With this improvement the manufacturer may reduce the dose estimation optimizing the processes of Biofork concentration.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| ALCANCE | 2 |
| JUSTIFICACIÓN | 3 |
| OBJETIVOS | 5 |
| Objetivo general..... | 5 |
| Objetivos específicos..... | 5 |
| | |
| 1. CAPITULO I: MARCO TEÓRICO | 6 |
| | |
| 1.1 Cultivo de plátano barraganete..... | 6 |
| 1.1.1 Ficha técnica de cultivo..... | 6 |
| 1.1.2 Zonas de producción..... | 10 |
| 1.1.2.1 Situación en el Ecuador..... | 10 |
| 1.1.2.2 Nivel Mundial..... | 10 |
| 1.1.2.3 Sistema Vascular..... | 11 |
| 1.2 Fertilización..... | 12 |
| 1.2.1 Bioestimulantes..... | 12 |
| 1.2.1.1 Descripción y propiedades..... | 13 |
| 1.2.1.2 Formas de Aplicación..... | 14 |
| 1.2.2 Fertilización Avanzada..... | 15 |
| 1.2.2.1 Bio-fol: Fertilizante Orgánico Foliar..... | 16 |
| 1.2.2.2 Bio-for K: Fertilizante formador de racimos y acelerador de retorno..... | 17 |
| 1.2.2.3 Curvas de absorción de fertilizantes..... | 18 |
| 1.3 Modelo Matemático..... | 19 |
| | |
| 2. CAPITULO II: METODOLOGÍA | 21 |
| | |
| 2.1 Método de aplicación seleccionado..... | 21 |
| 2.2 Diseño experimental..... | 22 |
| 2.3 Variables de estudio..... | 22 |
| 2.3.1 Altura de mata madre..... | 23 |
| 2.3.2 Diámetro de tallo madre..... | 24 |
| 2.3.3 Número de Hojas madre..... | 24 |
| 2.3.4 Área de hoja madre..... | 25 |
| 2.3.5 Grados Brix de fruta..... | 26 |
| 2.4 Modelo Matemático de superficie de respuesta..... | 26 |
| 2.4.1 Diluciones de producto Bio for K..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4.2 Regresión multivariable propuesta para obtener puntos óptimos | 31 |
| 2.5 Lotización para tratamientos | 33 |
| 2.6 Hipótesis | 34 |
| 3. CAPITULO III: MODELO MATEMÁTICO DE PREDICCIÓN POR OPTIMIZACIÓN CON RESPECTO A SUPERFICIE DE RESPUESTA | 35 |
| 3.1 Altura de mata madre | 39 |
| 3.2 Diámetro de tallo madre | 41 |
| 3.3 Número de Hojas madre | 44 |
| 3.4 Grados Brix | 47 |
| 3.5 Área Foliar | 49 |
| 4. CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 53 |
| 4.1 Variables de estudio | 53 |
| 4.1.1 Altura de mata madre | 60 |
| 4.1.2 Diámetro de tallo madre | 61 |
| 4.1.3 Número de hojas madre | 64 |
| 4.1.4 Área foliar de mata madre | 65 |
| 4.1.5 Grados Brix de fruta | 67 |
| 4.2 Análisis de Costos | 68 |
| 4.2.1 Entrada de Venta por Exportación con fertilización tradicional | 68 |
| 4.2.2 Entrada de Venta por Exportación con fertilización avanzada | 70 |
| 5. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 73 |
| 5.1 Conclusiones | 73 |
| 5.2 Recomendaciones | 75 |
| REFERENCIAS | 77 |
| ANEXOS | 81 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Datos generales | 6 |
| Tabla 2 Labores culturales | 7 |
| Tabla 3 Fitopatología..... | 8 |
| Tabla 4 Composición nutricional barraganete AAB por 100 gramos de sustancia comestible | 9 |
| Tabla 5 Superficie, Producción y Ventas, según cultivos permanentes | 10 |
| Tabla 6 Aprovechamiento de nutrientes..... | 15 |
| Tabla 7 Composición Fertilizante foliar completo Bio Fol ppm= 10–6..... | 17 |
| Tabla 8 Composición Fertilizante Formador de racimos y acelerador de retorno ppm= 10–6..... | 18 |
| Tabla 9 Variables de estudio medidos en testigos en la plantación Saneli. | 22 |
| Tabla 10 Recomendación del fabricante | 27 |
| Tabla 11 Método Utilizado para Obtener la Dosimetría para Pruebas de Volumen de Biofork, | 28 |
| Tabla 12 Método Utilizado para Obtener la Dosimetría para Pruebas de Concentración de Biofork | 29 |
| Tabla 13 Determinación de Puntos Axiales por codificación | 29 |
| Tabla 14 Combinaciones Posibles para determinar tratamientos Bf vs Bk | 30 |
| Tabla 15 Método de análisis: Análisis de Datos Y = respuesta X = Todas las interacciones..... | 31 |
| Tabla 16 Lote aleatorio | 33 |
| Tabla 17 Lote 2 sorteo al azar por dados | 33 |
| Tabla 18 Lote 3 sorteo al azar por número pi π | 33 |
| Tabla 19 Determinación de Intervalos BF | 36 |
| Tabla 20 Determinación de Intervalos BK | 37 |
| Tabla 21 Determinación de puntos axiales..... | 38 |
| Tabla 22 Identificación de tratamientos y mejores respuestas. | 38 |
| Tabla 23 Respuestas e interacciones para altura de tallo | 39 |
| Tabla 24 Estadística de la regresión para altura de planta..... | 39 |
| Tabla 25 Análisis de varianza para altura de planta | 39 |
| Tabla 26 Análisis estadístico para altura de planta | 40 |
| Tabla 27 Respuesta e interacciones para diámetro de tallo..... | 41 |

| | |
|---|----|
| Tabla 28 Estadística de la regresión para diámetro de tallo..... | 41 |
| Tabla 29 Análisis de varianza para diámetro de tallo | 42 |
| Tabla 30 Análisis estadístico para diámetro de tallo | 42 |
| Tabla 31 Respuestas e interacciones en número de hojas..... | 44 |
| Tabla 32 Estadísticas de la regresión número de hojas..... | 45 |
| Tabla 33 Análisis de varianza número de hojas | 45 |
| Tabla 34 Análisis estadístico para número de hojas | 45 |
| Tabla 35 Respuestas e interacciones en grados Brix | 47 |
| Tabla 36 Estadísticas de la regresión para grados Brix | 47 |
| Tabla 37 Análisis de varianza para grados Brix | 47 |
| Tabla 38 Análisis estadístico para grados Brix..... | 48 |
| Tabla 39 Respuestas e interacciones para área foliar | 49 |
| Tabla 40 Estadísticas de la regresión para área foliar | 50 |
| Tabla 41 Análisis de varianza para área foliar..... | 50 |
| Tabla 42 Análisis estadístico para área foliar | 50 |
| Tabla 43 Promedio de fertilización de suelos en El Carmen de Manabí | 56 |
| Tabla 44 Concentración promedio de nutrientes en 50 muestras foliares de plátano de plantaciones de El Carmen, Manabí..... | 56 |
| Tabla 45 Entrada de Venta por Exportación con fertilización tradicional..... | 69 |
| Tabla 46 Entrada de Venta por Exportación con fertilización avanzada..... | 70 |
| Tabla 47 Resultado de mejores combinaciones por respuesta estadística | 72 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Corte longitudinal de un tallo subterráneo..... | 12 |
| Figura 2 Rendimiento de plátano en relación con la distribución de abono..... | 14 |
| Figura 3 Comportamiento de la circunferencia del pseudo tallo de la planta de plátano a los cuatro y siete meses de edad en dos cosechas..... | 18 |
| Figura 4 Comportamiento de la altura del pseudo tallo de la planta de plátano a los cuatro y siete meses de edad en dos cosechas..... | 19 |
| Figura 5 Aguja Gertie Marx de doble salida con punta redonda..... | 21 |
| Figura 6 Aguja rechazada para método por falla de taponamiento..... | 21 |
| Figura 7 Pistola semiautomática..... | 21 |
| Figura 8 Método de inyección con pistola automática y manga de adhesivos para protección de planta..... | 22 |
| Figura 9 Medición de altura..... | 23 |
| Figura 10 Diámetro de tallo..... | 24 |
| Figura 11 Cuantificación de número de hojas..... | 24 |
| Figura 12 Largo..... | 26 |
| Figura 13 Ancho..... | 26 |
| Figura 14 Obtención de pulpa de plátano..... | 26 |
| Figura 15 Diseño rotatable para dos factores usando $\alpha = 1.414$ | 37 |
| Figura 16 Diseño experimental de estrella para determinación de tratamientos..... | 37 |
| Figura 17 Superficie de respuesta para altura de planta..... | 40 |
| Figura 18 Superficie de respuesta en doble punta para diámetro de tallo..... | 43 |
| Figura 19 Superficie de respuesta en silla sobre desarrollo foliar..... | 46 |
| Figura 20 Superficie de respuesta en silla para grados Brix..... | 48 |
| Figura 21 Superficie de respuesta donde se observa el punto óptimo para área foliar..... | 51 |
| Figura 22 Testigos con porcentaje de desarrollo de altura..... | 54 |
| Figura 23 Testigos con porcentaje de desarrollo de Hojas madre..... | 54 |
| Figura 24 Testigos con porcentaje de desarrollo de diámetro..... | 55 |

| | |
|--|----|
| Figura 25 Porcentaje de recuperación en altura..... | 60 |
| Figura 26 Porcentaje de recuperación en diámetro de tallo..... | 61 |
| Figura 27 Porcentaje de recuperación de desarrollo foliar..... | 64 |
| Figura 28 Desarrollo de área foliar de tres meses con aplicación de Bk y Bf..... | 65 |
| Figura 29 Primer racimo de planta tratada con Bf y Bk..... | 67 |
| Figura 30 Entrada de venta por exportación con fertilización tradicional..... | 68 |
| Figura 31 Entrada de venta por exportación con fertilización avanzada..... | 71 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1 Diámetro de Tallo Madre | 25 |
| Ecuación 2 Área de hoja madre. | 25 |
| Ecuación 3 Codificación de valores mínimos y máximos propuestos | 27 |
| Ecuación 4 Valor identificado de alfa. | 28 |
| Ecuación 5 Dosificación de valores específicos | 30 |
| Ecuación 6 Diluciones de Producto Bio for K. | 31 |
| Ecuación 7 Regresión multivariable propuesta para obtener puntos óptimos .. | 31 |
| Ecuación 8 Datos de coeficiente para multivariable X1 | 31 |
| Ecuación 9 Datos de coeficiente para multivariable X2..... | 32 |
| Ecuación 10 Decodificación utilizando fórmula | 32 |

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se realizó mediante el análisis de los efectos de fertilización avanzada en la Finca Saneli la cual posee el cultivo de plátano barraganete de exportación. El cultivo de plátano en el cual se realizó la investigación tiene más de 30 años como un monocultivo de plátano barraganete, actualmente lleva 6 años bajo el control, administración y cuidados de su propietaria la cual expone el caso de zonas de bajo rendimiento por características morfológicas deficientes a comparación de las plantas de buen rendimiento. El lote donde se realizó el experimento presenta un microclima con humedad relativa del 95%, temperatura promedio de 23°C, precipitación en verano (Junio – Septiembre) de 0.1mm, presión 1013hPA (Meteored, 2014) y una densidad de 900 plantas por hectárea las cuales a comparación de los otros lotes en producción estos se los ha considerado enano ya que tienen un metro menos de altura que el promedio y su tiempo de floración ha superado los 14 meses. Bajo los controles de siembra que se realizaron, se identificó que este lote solo ha sido fertilizado en el momento de la siembra con fertilizante inicial “Yaramila” constituido por nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) en una formulación comercial de 10%-30%-10% respectivamente, lo cual no contempla el requerimiento nutricional que se debe dar a la plantación por lo que se podría relacionar la baja producción y tamaño de las plantas con una fertilización deficiente (Toapanta, 2011). En el presente estudio se realizó la predicción por método de superficie de respuesta MSR, la recuperación que pueden tener las plantas por la aplicación de fertilizantes avanzados y bioestimulantes en el sistema vascular de la planta lo cual presentó varias ventajas en este tipo de absorción interna. Los productos aplicados fueron “BIOFORK” y “BIOFOL”, productos que cumplen con las concentraciones de macro, micronutrientes, aminoácidos y bioestimulantes que mejorarán la retención hídrica y disminuyeron el estrés hídrico de las plantas de plátano AAB, así mismo se observó que por contener una proteína “as” anti estrés, identificada por el laboratorio Biogeneticagreen C.A, la resistencia a climas fuertes de verano e invierno que las mantienen en senescencia aumentará con estas aplicaciones (Chrispeels, Crawford, y Schoreder, 1999).

ALCANCE

Se definió el periodo de estudio en base al tiempo de desarrollo de las plantas tratadas, debido a que el ciclo de producción del racimo comercial fluctúa de 9 a 12 meses en suelos con una fertilización óptima (Angulo, 2007). Debido al largo tiempo de formación del racimo se realizó una proyección de los resultados esperados en base al número de hojas en producción y diámetro de tallo, con el cual se obtuvo la cantidad de manos a formar. Los cambios fisiológicos, optimización de fertilizantes y aumento inducido por las dosis inyectables compuestas de bioestimulantes y fertilizantes avanzados en el sistema vascular de las plantas muestreadas se someterán a un análisis de predicción de los efectos mediante la optimización y aplicación de un modelo matemático.

En la presente investigación se realizó la estandarización de métodos de aplicación del producto, interacción con los agricultores para obtener costos tradicionales y costos del nuevo método, análisis fisiológico y morfológico de 900 plantas muestreadas, comparación con los testigos no inyectados y toma de datos durante los primeros 4 meses. En esta investigación se comprobará que los análisis en campo del uso de fertilizantes pueden ser realizados en un modelo matemático para obtener los puntos óptimos del mejor tratamiento que se deben utilizar. Se obtuvieron resultados hasta el primer retorno por lo cual para poder comprobar si el producto aplicado llega a ser sistémico y hereditario aumentando la fertilización de las plantas se deberá realizar futuras investigación.

JUSTIFICACIÓN

En esta investigación se demostró que la aplicación de tecnologías de fertilización avanzada con compuestos simbióticos de bioestimulantes, vitaminas, proteínas, ácidos nucleicos, lípidos, polisacáridos complejos y promotores de hormonas pueden mejorar la formación de racimos y el aceleramiento de retornos. Para poder realizar esta investigación se tomó un lote que presenta deficiencia de crecimiento y mayor tiempo en fructificar que las plantas fisiológicamente normales, en la Finca Saneli, ubicada en la provincia de Manabí en el cantón, El Carmen. Se estima que al utilizar Bio-For K y Bio-Fol, productos Bioestimulantes y fertilizantes de la empresa BIOGENETICAGREEN C.A se logrará obtener resultados acumulados por aumento de nutrición de la planta madre hacia el hijo y nieto respectivamente. Dicho proceso de herencia de nutrientes se da luego de la cosecha del racimo de la mata madre a la cual en el periodo de verano se le realiza un corte en forma siete a una altura de 1.7 metros lo cual permite que el hijo continúe recibiendo nutrientes y H₂O, ayudando a que el estrés hídrico no sea severo y que la fluctuación del fertilizante y microorganismos benéficos sea eficiente.

Dentro de los labores de campo que se deben realizar para que los racimos que llegaron a producir sean aptos, obtener mayor calibre y menos tiempo de fructificación se realizó la acción de desbellote, en las semanas 3 y 4 de la formación del racimo, dicho labor es un proceso en el cual se extrae por método manual la bellota que se encuentra en el eje del tallo por debajo de la última mano (Angulo, 2007). Con la aplicación de los productos mencionados ahora como Bio-Fol (BF) y Biofork (BK) se observó que la fructificación se acelera y que gracias a la concentración y volumen de producto administrado por vía directa el tiempo de corte disminuye. Los resultados Recuperados que se observaron en los 4 meses de medición son el aumento en el diámetro del tallo, aumento de hojas funcionales, altura de hijos, aumento del área foliar y variación de sólidos totales medidos en grados Brix.

El beneficio que se observó al aplicar BK y BF, va ligado a la optimización y verificación de funcionalidad de los productos de BIOGENETICAGREEN C.A brindando a la empresa un mejor costo beneficio de dosificaciones y a proporcionar a los productores de plátano barraganete (musa AAB paradisiaca) una solución tecnológica de micro fertilización avanzada que se enfoca en no fertilizar el suelo sino en alimentar a la planta por vía directa.

OBJETIVO

Objetivo general

Validar un modelo matemático de predicción del efecto de la inyección de bioestimulantes y fertilizantes avanzados para la mejora de la productividad y calidad del plátano barraganete de exportación.

Objetivos específicos

1. Adaptar un modelo matemático de predicción del efecto de bioestimulantes.
2. Implementar un sistema de fertilización avanzada mediante la inyección de bioestimulantes; Bio-Fol y Bio-Fork directo al sistema vascular de la planta.
3. Evaluar las variables de estudio de las unidades experimentales
4. Analizar los costos vs beneficio de la implementación de un sistema directo de fertilización para el aumento de conversión a caja por el desarrollo de dedos exportables con la aplicación de Bio-Fol y Bio-Fork en dosificaciones y tratamientos diferentes.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Cultivo de plátano barraganete

1.1.1. Ficha técnica de cultivo

Tabla 1. Datos generales

| | |
|--|---|
| <p>Musa AAB paradisiaca</p> <p>Orden: Scitamineaceae</p> <p>Familia: Musaceae</p> <p>Género: Musa</p> <p>Especie: Paradisiaca</p> <p>Nombre Común: Plátano barraganete, Plátano macho, Horn Plantain, Cooking banana, Green Plantain</p> |  |
| <p>Suelos:</p> | <p>Aluviales, sueltos ligeros, permeables, Fca arenosa – Fca arcillosa.</p> |
| <p>Clima:</p> | <p>Subtropicales y tropicales.</p> |
| <p>Potencial Hidrógeno pH:</p> | <p>4.5 a 8.0</p> |
| <p>Precipitación pluvial:</p> | <p>1800 a 2500 mm, distribuidos en todo el año, las necesidades mensuales de agua son de 150 a 180 mm</p> |
| <p>Altitud:</p> | <p>0 a 2000 msnm</p> |
| <p>Temperatura:</p> | <p>23 – 30 °C</p> |
| <p>Humedad relativa:</p> | <p>60 a 90%</p> |
| <p>Luminosidad:</p> | <p>Promedio 2000 horas luz por año, al disminuir la intensidad de luz el ciclo vegetativo de la planta se alarga.</p> |
| <p>Composición:</p> | <p>Pseudo tallo 93% H₂O</p> |

Tabla 2 Labores culturales

| | |
|-------------------|---|
| Fertilización: | 200 to 400 kg/ha N, 45 a 60 kg/ha P y 240 a 480 kg/ha K por año. |
| Tipos de semilla: | Cormo, meristemo y Rizoma. |
| Propagación | El fruto del plátano es una baya partenocárpica; es decir, se forma sin necesidad de que las flores femeninas sean polinizadas (Arias y Toledo, 2014). Es una planta monocotiledónea donde la multiplicación se realiza casi exclusivamente por hijos o rebrotes que la planta produce en abundancia cuando es adulta. Conviene utilizar hijos bien desarrollados que tengan 1,50 m como mínimo de altura y recogidos en las plantas próximas a fructificar, estos hijos deben tener características como la forma de las hojas en espada. La semilla de plátano llamada colín debe estar libre de plagas y enfermedades, reuniendo ciertas características en cuanto a tamaño y calidad. |
| Cosecha | La cosecha se inicia 9 a 12 meses después de la siembra, dependiendo de las condiciones climáticas, suelo y labores culturales. La cosecha se hace 13 semanas luego de la floración, el racimo deberá cortarse en un estado cercano a la madurez fisiológica, de manera que se debe evitar que los frutos maduren durante el transporte. Dependiendo el mercado donde se dirige el tiempo de corte cambiará a más verde o más maduro. Se deberá conocer el grado óptimo de madurez para la cosecha, es decir, el estado de madurez fisiológica del fruto que permita aprovechar al máximo todos los frutos del racimo. La limpieza de la fruta se debe hacer con una solución de fungicidas, para luego ser empacados en cajas de 50 lb para exportación en las que se depositarán en promedio de 60 a 65 frutos por caja (Angulo, 2007). |

Tabla 3 Fitopatología

| | |
|---------------------------------------|---|
| Plagas | <p>Thrips: (<i>Hercinothrips femoralis</i>): Sus características principales son: pico chupador-raspador, alas plumosas y en número de dos pares, de color marrón oscuro. Ataca directamente al fruto en su mayoría afectan a la calidad de exportación llenando la fruta de puntos cafés y amarillos. Generalmente se encuentran entre las capas del pseudo tallo en la parte superior del mismo (Ministerio de Agricultura de República Dominicana, 2015).</p> <p>Picudo Negro: Es un insecto que cuando es adulto es negro y mide alrededor de 13 mm de longitud y 4 mm de ancho. Este insecto puede ser un vector para hongos, bacterias y virus. Cuando ataca a la planta de plátano este ataca a las raíces y al núcleo de la planta debilitándola y provocando volcamiento, resultando en la pérdida de calidad de la fruta (INIAP, 2015).</p> |
| Principales Enfermedades a controlar: | <p>Sigatoka negra, Sigatoka amarilla, Moko, Anthracnose, <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Radices-betae</i>, Banana Strike Virus (BSV), Cucumber Mosaic Virus (CMV).</p> |

Tabla 4 Composición nutricional barraganete AAB por 100 gramos de sustancia comestible

| Componente | Sub Componente | UM | Valor |
|-----------------------------|-----------------------|-----------|--------------|
| Agua | | (g) | 75.7 |
| Proteína | | (g) | 1.1 |
| Lípidos | | (g) | 0.2 |
| Carbohidratos | Total | (g) | 22.2 |
| | Fibras | | 0.6 |
| Vitaminas | A | (UI) | 190 |
| | B1 | (mg) | 0.05 |
| | B2 | (mg) | 0.06 |
| | B6 | (mg) | 0.32 |
| | Ácido nicotínico | (mg) | 0.6 |
| | Ácido pantoténico | (mg) | 0.2 |
| | C | (mg) | 10 |
| Otros componentes orgánicos | Ácido málico | (mg) | 500 |
| | Ácido Cítrico | (mg) | 150 |
| | Ácido oxálico | (mg) | 6.4 |
| Sales minerales | Sodio | (mg) | 1 |
| | Potasio | (mg) | 420 |
| | Calcio | (mg) | 8 |
| | Magnesio | (mg) | 31 |
| | Manganeso | (mg) | 0.64 |
| | Hierro | (mg) | 0.7 |
| | Cobre | (mg) | 0.2 |
| | Fósforo | (mg) | 28 |
| | Azufre | (mg) | 12 |
| | Cloro | (mg) | 125 |
| Calorías | | (kcal) | 85 |

Adaptado de Dole, 2015.

1.1.2. Zonas de producción

1.1.2.1. Situación en el Ecuador

El cultivo de plátano barraganete es considerado como parte primordial en la economía del cantón el Carmen y sus alrededores. En la actualidad es uno de los cultivos más cotizados en la zona del Guayas, Oriente y Manabí. El Cantón el Carmen donde se realizó la investigación se lo ha denomina “La Puerta de Oro de Manabí”, por su producción de plátano barraganete, la calidad única en el país y su cantidad de exportación hacia regiones como Estados Unidos de Norteamérica y Europa (Municipio Manabí, 2014). El plátano es la fuente de sustentación y alimentación de las provincias más populares del país y del mundo con un total en el Ecuador de 9624 UPAs y 23837 ha de superficie sembrada como monocultivo y 5700 UPAs con 14956 ha de superficie sembrada de cultivo mixto según la última encuesta de Ministerio de Agricultura y Pesca (SINIGAP, 2012).

Tabla 5 Superficie, Producción Y Ventas, Según Cultivos Permanentes

| Cultivo permanente | | Superficie Plantada (Hectáreas) | Superficie En Edad Productiva (Hectáreas) | Superficie Cosechada (Hectáreas) | Producción (Tm.) | Ventas (Tm.) |
|--------------------|----------|---------------------------------|---|----------------------------------|------------------|--------------|
| Plátano o AAB | Solo | 23837 | 21900 | 21733 | 129968 | 122202 |
| | Asociado | 14956 | 14380 | 14167 | 29331 | 26499 |

Adaptado de Instituto nacional de estadísticas y censos, 2015.

1.1.2.2. Nivel Mundial

Esta musácea es el cuarto cultivo más importante en el mundo, después del arroz, el trigo y el maíz (Fundación Erosky Coop, 2014). Este producto de seguridad alimenticia tiene un origen que partió desde Asia hacia África, Europa y luego hacia América donde los principales competidores de Ecuador son Jamaica, Guatemala, Honduras, Costa rica, Brasil, Colombia y Panamá (Junejo, 2011). Además de ser considerado un producto básico y de

exportación, constituye una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en vías de desarrollo de las regiones húmedas y cálidas del sureste asiático y trópico húmedo de latino América y América central, así como también es parte esencial de la dieta diaria para los habitantes de más de cien países tropicales, subtropicales y hoy por hoy forma parte de los productos de mayor necesidad en seguridad alimentaria (Fundación Erosky Coop, 2014). Los países latinoamericanos y del Caribe producen dedos con calibre de 23 cm y 4.5 cm de ancho aptos para la exportación que entran en el comercio internacional (Zambrano, s.f.), así se determina que 10 millones de toneladas del total mundial de 12 millones de toneladas son proporcionados por estas regiones mencionadas.

Dentro de las proyecciones de la FAO en los próximos 40 años la población mundial incrementará en nueve millones de habitantes por lo que la producción de alimentos aumentará gracias a nuevas tecnologías de fertilización y mejora de variedades. Mundialmente la innovación de fertilizantes se ve obligada a ser más limpia y de agricultura sustentable en menores espacios de producción.

1.1.2.3 Sistema Vascular

El sistema radicular de la planta de plátano está formado por raíces adventicias, fasciculadas y fibrosas, estas se desarrollan entre los 20 y 60 centímetros del suelo por lo que los agujeros donde se plantan los cormos deben tener el espacio necesario para su desarrollo. El tamaño de las raíces está afectado por la calidad de suelo, su textura y estructura, al tener suelos aptos, estas pueden medir hasta 5 metros y tener un grosor de 10 mm. La morfología del plátano se determina en un tallo verdadero o cormo, el cual solo se lo ve sobre el suelo cuando la planta fructifica pero el tallo que la sostiene y crece es un pseudotallo compuesto por 93% de agua y capas fibrosas blandas cubiertas una sobre otra.

De este pseudotallo aparecen ramificaciones monopódicas de donde crecen las hojas que parten del meristemo apical o también conocido como punto vegetativo.

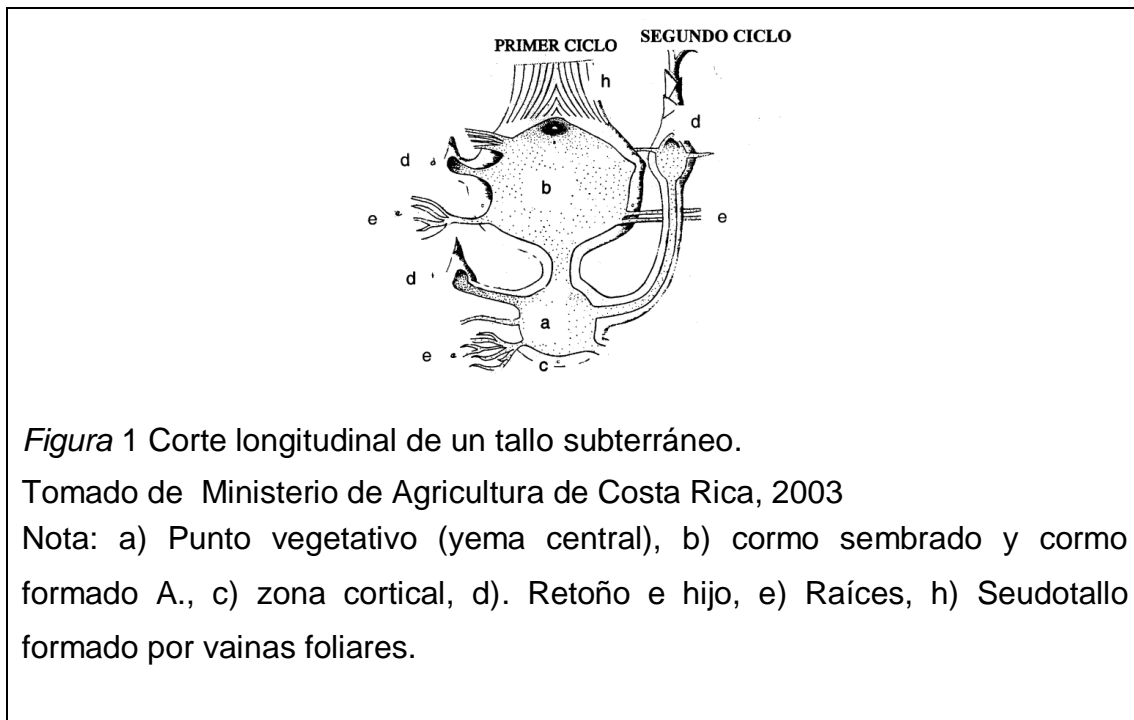


Figura 1 Corte longitudinal de un tallo subterráneo.

Tomado de Ministerio de Agricultura de Costa Rica, 2003

Nota: a) Punto vegetativo (yema central), b) cormo sembrado y cormo formado A., c) zona cortical, d). Retoño e hijo, e) Raíces, h) Seudotallo formado por vainas foliares.

1.2 Fertilización

1.2.1 Bioestimulantes

Los bioestimulantes se encuentran distribuidos en gran parte del mercado de fertilizantes. Estos son composiciones de sustancias que brindan un aporte o efecto positivo en el desarrollo de la planta, tanto en emisión foliar, fructificación, crecimiento vegetativo y mejoras morfológicas de la planta. La mayoría de bioestimulantes se basa en una combinación de vitaminas, nutrientes y reguladores de crecimiento. Los bioestimulantes pueden presentarse en forma de quelatos o minerales libres, varios productos se dividen por su cantidad de aminoácidos teniendo variantes en cadenas largas y cortas lo que representa de mayor de 10 aminoácidos o de 1 a 10 respectivamente.

Como todos los procesos de la planta se basan en la formación de nuevas células y por ende estructuras la aplicación de aminoácidos como soporte a la planta es esencial. Los aminoácidos proporcionados a la planta cumplen la función de desarrollar diferentes procesos biológicos dentro de los cuales aparte de la morfología la fisiología se verá involucrada, por esto el transporte, metabolismo y almacenamiento de nutrientes tendrá un funcionamiento más

eficiente. Procesos fisiológicos de la planta como la transaminación y diversas reacciones enzimáticas permiten que los bioestimulantes con formulación de aminoácidos permitan producir nuevos aminoácidos a partir de estos preexistentes.

Dentro de los bioestimulantes más comunes se encuentran los formulados con reguladores de crecimiento. Estos incluyen hormonas básicas como auxinas, giberelinas, citoquinas, ácido abscísico y etileno. Oligosacarinas, brasinoesteroides, jasmonatos, salicilatos poliaminas son también reguladores de crecimiento que se han encontrado actualmente. Esta carga hormonal es la responsable del desarrollo endógeno y debido a que son mediadores sirven para optimizar el crecimiento y desarrollo mediante la integración de señales extracelulares.

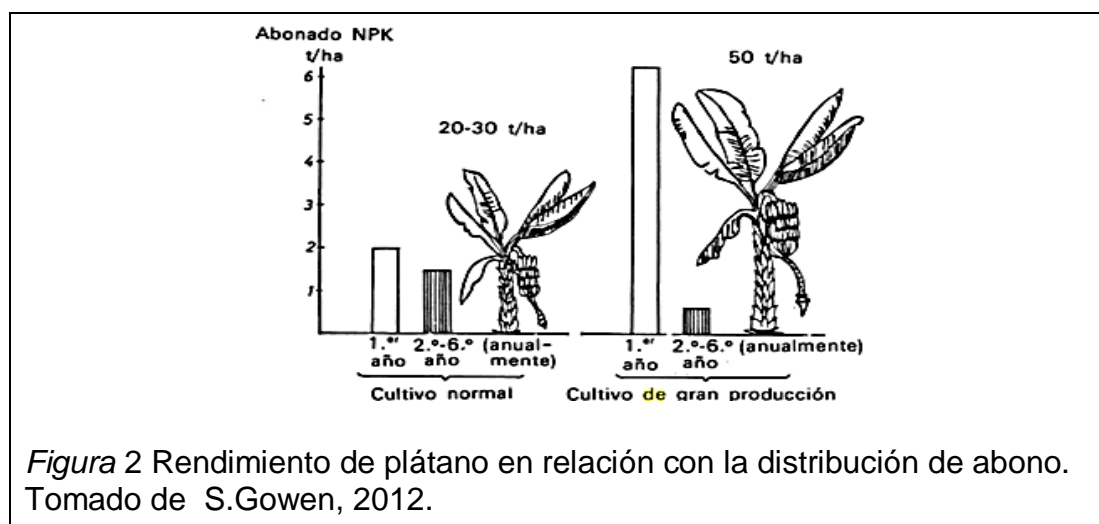
1.2.1.1 Descripción y propiedades

La fertilización puede acelerar o retrasar el crecimiento de la planta en momentos determinados del ciclo de cultivo, tanto de su parte aérea como radical, convirtiéndose en un problema básico para alcanzar el máximo desarrollo de las producciones. El empleo de sustratos pobres en contenido nutritivo pero adecuado por sus características físico-químicas y estructurales, permite el control adecuado de fertilizantes (fuente de nutrientes) como disponibilidad de elementos minerales para la planta durante el cultivo (Watson, 2010). La mayoría de plataneros del Ecuador basa sus sistemas de fertilización en comparación al uso de fertilizantes en los cultivos de banano (genoma AAA). Esto no es una mala adaptación y en varias ocasiones da excelentes resultados pero los costos de producción de plátano aumentan volviéndose desfavorables para el productor de plátano. Grandes diferencias en el potencial de rendimiento de cada una de estas especies se marcan por el genoma que presentan respectivamente, en el banano el buen uso de fertilización de suelos conlleva a un mayor peso de fruta, aumento de clúster y mayor número de dedos mientras que en el plátano solo se necesita la tercera parte de la fertilización del banano y los resultados se observan en el incremento del peso

de dedos, aumento de manos mientras que el cambio de número de manos por racimo y número de dedos es muy pequeño (Espinoza et al , 1995).

1.2.1.2. Formas de Aplicación

La aplicación más común es que sea 60 gramos por planta durante los días de lluvia. En plantas recién sembradas se utiliza un fertilizante inicial y luego se realiza la aplicación cada dos meses entre los meses de enero y junio hasta completar 3 aplicaciones (Ulloa et al, 2012). Los abonos o fertilizantes pueden presentarse de forma líquida, sólida y gaseosa. Diferentes técnicas conllevan a reducir el costo de aplicación y evitar la pérdida de producto por lixiviación o alteración química por el clima. La técnica de aplicación tradicional enfatiza que la distribución de fertilizante debe permitir que los nutrientes alcancen la zona radicular para poder ser absorbido. La distribución de abonos sólidos, suele ser por aplicación en la superficie del suelo o por espeque, en ciertos casos esto es suficiente, para que las raíces capten los nutrientes que se filtran con el agua de percolación. Diferentes métodos para liberar la disponibilidad de nutrientes en plantas permiten su alto aprovechamiento por un período más largo de tiempo.



En la figura 2 presentada en el libro de S. Gowen se observa la adaptación de A. Finck donde las recomendación que se dan para el cultivo de plátano AAB debe ser programado ya que la deficiencia de Nitrógeno N, Potasio K y Magnesio Mg entre otros o la desnutrición y mala dosificación de Nitrógeno N, Fósforo P y Potasio K / Magnesio Mg o Potasio K/ Magnesio Mg demasiado alta puede favorecer a la aparición y aumento de hongos patógenos. La aplicación recomendada debe ser paulatina y en mayor cantidad en el primer año para tener una mejor cosecha pero de la misma forma manejar el programa de fertilización para obtener mayor cantidad residualidad en los siguientes años (Finck, 1988).

Tabla 6 Aprovechamiento de nutrientes

| Fertilizante | Porcentaje de aprovechamiento % |
|-----------------------------------|--|
| Nitrógeno mineral | 50 – 60 |
| Nitrógeno orgánico | 20 – 30 |
| Fosfato mineral | 15 |
| Fosfato orgánico | 20 – 30 |
| Potasio (mineral u orgánico) | 50 – 60 |
| Manganeso, cobre, zinc (mineral) | 0,5 – 5 |

Adaptado de Michael John Thornley Norman, C. J Pearson, P.G.E Searle, 1995.

1.2.2 Fertilización Avanzada

Dentro de los fertilizantes avanzados se presentan líquidos aplicados por inyección y aspersion con bomba de boquilla electrostática, lo cual permite que las gotas de producto se puedan adherir mejor a la hoja y mantenerse estática para absorberse poco a poco por los estomas. Según la compañía Biogeneticagreen C.A la aplicación de fertilizantes líquidos y súper concentrados es la solución para no perder producto por los cambios climáticos y disminuir la cantidad de mano de obra que se usa en la fertilización

tradicional. Fertilizantes en los cuales la disposición de nutrientes para la planta es de manera lenta y el periodo de tiempo puede ser mayor o menor de acuerdo a las condiciones ambientales (Traxco, 2011). Los fertilizantes de nueva generación deben presentar características como inhibidores de nitrificación, anti apelmazantes, estabilizantes y productos de liberación controlada. Análisis en la liberación de fertilizantes y su aplicación se enfatizan en reducir la pérdida de nutrientes por lixiviación o por emisiones de vapores a la atmósfera. La Asociación de Fabricantes de Fertilizantes (ANFFE) propone que los nuevos procesos productivos de fertilización y control de suelos sea un conjunto de factores como análisis y mecanización de análisis de suelos, tipos de cultivos, variedades de plantas, rotación de cultivos, gasto de energía sustentabilidad y biodiversidad que puedan ser medidos por la toma de datos estadísticos y modelados matemáticamente con gestión integral (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes, 2013). Los productos que ofrece Biogeneticagreen C.A como fertilizantes avanzados son Bio – Fol y Bio – Fork.

1.2.2.1 Bio-fol: Fertilizante Orgánico Foliar

Esta solución concentrada proveniente de materia orgánica tiene todos los macro y micro elementos, en una proporción adecuada para el continuo crecimiento de las plantas a tratarse. El nitrógeno se encuentra en forma de nitratos principalmente para su rápida absorción. El fósforo en forma de fosfitos para la protección contra hongos, y para elicitar la acción de fitoalexinas, es decir el sistema inmunológico de las plantas. El calcio y magnesio están presentes en forma de nitrato de calcio y magnesio. Los micro elementos, quelatados orgánicamente, están proporcionados, equilibrados y estabilizados, para que actúen rápida y eficazmente (Romo-Leroux, 2014).

Tabla 7 Composición Fertilizante foliar completo Bio Fol ppm= 10–6

| Componente | Nomenclatura | Valor | UM |
|---------------------|----------------------------------|---------|-----|
| Nitrógeno Nítrico | (N-NO ₃) | 35,750 | ppm |
| Nitrógeno Amoniacal | (N-NH ₄) | 63,780 | ppm |
| Fósforo | (P ₂ O ₅) | 8,120 | ppm |
| Potasio | (K ₂ O) | 94,000 | ppm |
| Sulfatos | | 4,710 | ppm |
| Magnesio | (MgO) | 75,000 | ppm |
| Calcio | (Ca) | 230,000 | ppm |
| Hierro | (Fe) | 3,110 | ppm |
| Molibdeno | | 42,9 | ppm |
| Zinc | (Zn) | 1,600 | ppm |
| Cobre | (Cu) | 380 | ppm |
| Manganeso | (Mn) | 580 | ppm |
| Boro | (B) | 550 | ppm |

Tomado de Biogeneticagreen C.A.

1.2.2.2 Bio-for K: Fertilizante formador de racimos y acelerador de retorno.

Composición

Es un producto completo orgánico con un alto contenido de proteínas de alta calidad, vitaminas, promotores de bioestimulación, ácidos nucleicos, lípidos, polisacáridos complejos, ácido húmicos, fúlvicos, oligosacáridos, cisteína. El uso de estos ácidos permite que incremente la capacidad de intercambio catiónico de los suelos y mejoran el estrés hídrico por aumento de retención de humedad. El producto elicita la acción de fitoalexinas, es decir el sistema inmunológico de las plantas. Este producto es compatible con todos los productos de reacción ácida o neutra. Se debe diluir 1 litro en 3 de agua pura. (Romo-Leroux, 2014).

Tabla 8 Composición Fertilizante Formador de racimos y acelerador de retorno ppm= 10-6

| Componente | Nomenclatura | Valor | UM |
|------------|--------------|-----------|-----|
| Nitrógeno | (N) Total | 20000ppm | ppm |
| Fósforo | (P2O5) | 5000 ppm | ppm |
| Potasio | (K2O) | 10000 ppm | ppm |
| Magnesio | (MgO) | 5000 ppm | ppm |
| Molibdeno | | 4 ppm | ppm |
| Zinc | (Zn) | 6 ppm | ppm |
| Cobre | (Cu) | 1.2 ppm | ppm |
| Manganeso | (Mn) | 58 ppm | ppm |
| Boro | (B) | 55 ppm | ppm |
| Calcio | (Ca) | 23000ppm | ppm |

Tomado de Biogeneticagreen C.A

1.2.2.3 Curvas de absorción de fertilizantes

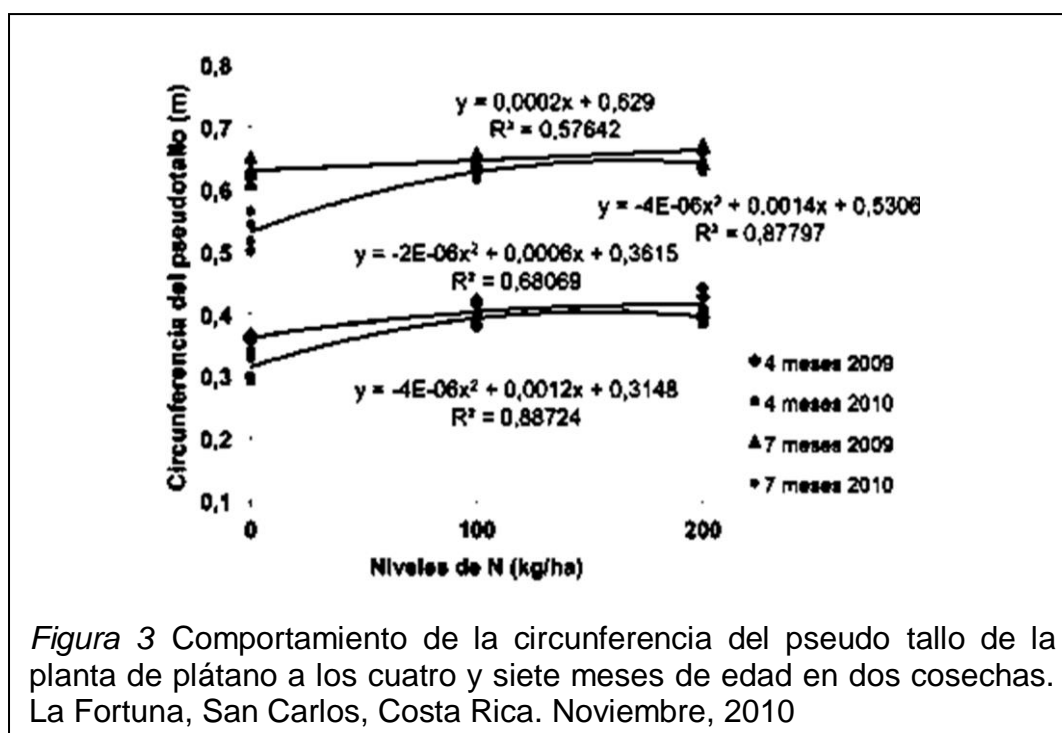
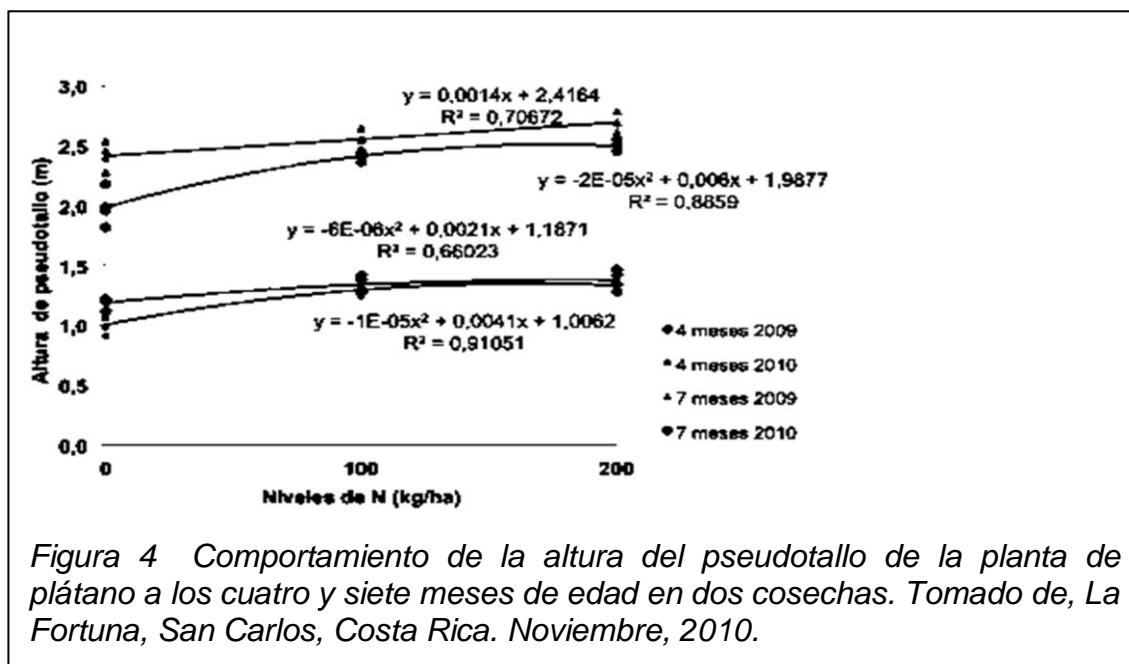


Figura 3 Comportamiento de la circunferencia del pseudo tallo de la planta de plátano a los cuatro y siete meses de edad en dos cosechas. La Fortuna, San Carlos, Costa Rica. Noviembre, 2010



1.3 Modelo Matemático

Método de Superficie de Respuesta (MSR), es un conjunto de técnicas donde el objetivo final es obtener la optimización de los valores de la variable de respuesta para la respuesta en Y. Estas respuestas se encuentran influenciadas por los niveles k que vienen a ser factores cuantitativos determinados aquí como X1 y X2 con lo cual se realizan las diferentes combinaciones. El planteamiento de 2 k se realiza para dos factores, con el cual se determinan puntos axiales o estrella para obtener el número de tratamientos necesarios para la investigación (Kuehl, 2000).

En este planteamiento se puede encontrar términos lineales de los efectos principales; términos lineales y cuadráticos de los efectos principales, términos lineales de los efectos principales y las interacciones de segunda orden, términos lineales y cuadráticos de los efectos principales y las interacciones de segunda orden. En este modelo es necesario utilizar un parámetro de rotabilidad el cual es asignado como α . Donde $\alpha = (n_f)^{1/4}$ es Recuperado por la región de interés. Box y Hunter afirmaron que la varianza de la respuesta prevista es constante en las esferas lo cual indica que la respuesta debe ser la

misma en todos los puntos de las variables independientes que estén a la misma distancia del centro del planeamiento. Para este planteamiento y obtener la región experimental o de exploración se escogen dos puntos uno mínimo y uno máximo dentro de los cuales por el método del gradiente se encontrarán las condiciones operacionales de las variables que llevan a un rendimiento máximo (Cámara et al, 2013)

2. METODOLOGÍA

2.1 Método de aplicación seleccionado

Para la aplicación de los fertilizantes líquidos de los laboratorios Biogenética Green C.A se utilizó una pistola automática Multi-Dosificador de 30 ml y una semi automática. Bio-for K se aplicó a una altura de 1 metro del suelo y Bio Fol a 30 cm del suelo. La inyección utilizada fue una aguja Gertie Marx de doble salida y punta redonda la cual se inyecta en un ángulo de 45° a 60° grados hacia abajo y se espera 3 segundos para retirar la inyección. Al momento de retirar la inyección se debe aplicar un adhesivo ceroso el cual es la barrera que impide que cualquier contaminación del ambiente o patógenos entren a la planta por la lesión causada.



Figura 5 Aguja Gertie Marx de doble salida con punta redonda

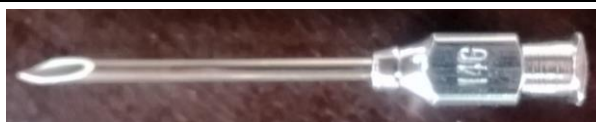


Figura 6 Aguja rechazada para método por falla de taponamiento.



Figura 7 Pistola semi automática



Figura 8. Método de inyección con pistola automática y manga de adhesivos para protección de planta.

2.2 Diseño experimental

Se tomó el sistema de superficie de respuesta para factores de tratamiento cuantitativos donde la representación geométrica de dos variables independientes se representa como una superficie de respuesta en tres dimensiones. El diseño de experimentos asignado para la investigación fue un modelo 2k (2 factores) rotacional de segundo orden, con el cual se asignaron 9 tratamientos de concentración vs volumen, aplicados en 9 plantas por tratamiento, realizado en 3 lotes divididos aleatoriamente por dados, selección de Π (Pi) y con 4 repeticiones.

2.3 Variables de estudio

Tabla 9 Variables de estudio medidos en testigos en la plantación Saneli.

| Altura | Diámetro de Tallo Madre | Porcentaje Área foliar cm ² | Número de Hojas madre | Grados Brix | Número de Manos |
|--------|-------------------------|--|-----------------------|-------------|-----------------|
| 215,55 | 48 | 10296,58 | 5,8 | 7 | 4,50 |

Nota: Se observa el punto de partida de los testigos analizados sin aplicación de Bio fol ó Bio fork.

2.3.1 Altura de mata madre

Se realizaron medidas desde el comienzo de la aplicación utilizando plantas que se encontraban aletargadas en su floración. La altura de la planta disminuye cuando la bellota se encuentra cercana a emerger lo que determinó la edad para tomar medidas de altura de la planta de plátano. Se determinó la altura de la planta mediante el uso de una cinta de medida metálica de 5m, con la cual se realizó la medida desde la base de la planta junto al suelo hacia la parte superior del pecíolo de la última hoja que fue emitida.



Figura 9 Medición de altura

2.3.2 Diámetro de tallo madre

Se utilizó una cinta métrica realizando la medición del diámetro a 1 metro de altura desde el suelo en el mismo punto donde se realizó la aplicación del producto.



Figura 10 Diámetro de tallo

2.3.3 Número de Hojas madre

Se cuantificó el número de hojas funcionales de la planta por inspección visual sin tomar en cuenta la última hoja seca de desecho.



Figura 11 Cuantificación de número de hojas

Para poder comprobar el desarrollo foliar y obtener datos aproximados se puede utilizar métodos tradicionales con ecuaciones que conllevan el cálculo de producción de hojas, tiempo de fructificación y producción de racimos.

Como un método de análisis de la productividad se tienen varias fórmulas de la rama de fisiología vegetal donde se analiza la mecánica de la planta. La producción de las plantas puede medirse de la siguiente forma; El número de racimos que se cosechan tiene 3 componentes los cuales son el número total de hojas que se producen por cada planta (N), el radio de producción de hojas (R1) y el radio de retorno del emergente (S) donde S es el número de hojas de la madre cuando el retorno empieza a crecer hacia el N número total de hojas producidos por cada planta. Por lo que una planta que produzca 40 hojas y un hijo de 20 hojas tendrá un $S = 0.5$. Donde la productividad se determinará como Y:

(Ecuación 1)

$$Y = fa * wf (R1/ N * s) p$$

Wr= peso de racimo

fa= número de frutos

Wf= peso de la fruta

p= densidad de plantas por hectárea

R1= número de hojas producidas por planta y por año

Y= fruta fresca en unidades de tonelada por hectárea ($t\ ha^{-1}\ y^{-1}$)

2.3.4 Área de hoja madre

El área total de la hoja fue determinado realizando el análisis con la fórmula propuesta por Martínez que determina que:

(Ecuación 2)

$$\begin{aligned} \text{Área foliar} &= L (\text{Largo}) * A (\text{Ancho}) \\ &* 0.80 (\text{Porcentaje de la hoja sin el } 20\% \text{ de los bordes}) \end{aligned}$$

El largo fue medido desde la base del pecíolo siguiendo el nervio principal hasta llegar a la punta de la hoja, mientras que el ancho se determinó al tomar la mitad horizontal más amplia de la hoja en el punto medio.



Figura 12 Largo



Figura 13 Ancho

2.3.5 Grados Brix de fruta

Se realizó la cosecha de racimos testigos y racimos de las plantas tratadas que llegaron a producir. De estos frutos al tercer día de cosechado se realizó el análisis de concentración de sacarosa con un refractómetro de 0 a 32% de medición. Se realizó un corte de la parte media de la fruta en rodajas, luego en un mortero se trituro hasta obtener una pulpa líquida la cual se aplicó en frío en el refractómetro y se realizó la observación visual de la medición (Peláez, 2009).



Figura 14 Obtención de pulpa de plátano

2.4 Modelo Matemático de superficie de respuesta

Se validó el modelo diseño experimental factorial 2k con la metodología de análisis de superficie de respuesta con lo cual se obtuvo los tratamientos y puntos óptimos en los cuales las dosis experimentadas brindaron el efecto y la respuesta esperada para que tanto el laboratorio productor y el agricultor

optimicen el uso del producto en campo (Kuehl, 2000). Con las diferentes respuestas se obtuvieron datos que sirven para obtener el coeficiente de determinación de la recta (R^2) pronunciado R cuadrado, que mostró la mayor tendencia y los valores con los cuales se realizó una regresión multivariable y para obtener específicamente los valores de concentración vs volumen del mejor tratamiento a aplicar. El valor de coeficiente R^2 que se obtuvo es con el cual se explica la veracidad total de los resultados de las variaciones y efecto que se presentan entre los ejes X y Y respectivamente (Quinn y Keough, 2002).

El modelo de superficie de respuesta que se utilizó es de segundo orden debido a que se obtuvieron gráficos que presentan una curvatura (Lalanne, 2005):

(Ecuación 3)

$$\mu_y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2$$

Primero se realiza la codificación de los valores mínimos y máximos propuestos para encontrar el rango e intervalo de dosis y concentración a experimentar, la codificación es necesaria ya que para obtener el punto óptimo se debe realizar una regresión multivariable por lo que se necesita simplicidad (Kuehl, 2000).

Tabla 10 Recomendación del fabricante

| Aplicación en Hijo/ Volumen | | | |
|---|--------------|-------------|-----------------|
| Producto | Dosis | UM | Variable |
| Bio fol | 5 | ml (Mínimo) | X |
| | 30 | ml (Máximo) | X1 |
| Aplicación en Mata + 3 de 5 ml cte./ Concentración | | | |
| Bio for K | 1 | X (Mínimo) | Y |
| | 10 | X (Máximo) | Y1 |

El laboratorio sugiere que la aplicación del producto sea aplicado 5 ml de Biofol + 5ml de Biofork a una concentración 10 X y también 5ml de Biofork a una concentración de 1X más 30 ml de Biofol.

Para que el método de optimización sea factible se debe utilizar el factor determinado para dos variables (2K rotacional) por Kuehl en Método de superficie de respuesta:

(Ecuación 4)

$$\alpha (\text{Alfa}) = (nf)^{1/4}$$

ó

$$\alpha = (2k)^{1/4}$$

Mediante el uso del valor identificado de alfa determinan los puntos sobre el centro del diseño y este brinda ortogonalidad al diseño experimental 2k, da la propiedad de rotabilidad, disminuye el error y diferencia de valores que pueden resultar del modelo planteado de grado dos mientras que el verdadero podría ser de un mayor grado a analizar.

Tabla 11 Método Utilizado para Obtener la Dosimetría para Pruebas de Volumen de Biofork,

| DETERMINACIÓN DE VOLUMEN | | | | | |
|--------------------------|-------|----------------|--------|-----------|----------------|
| | Rango | Volumen Y | Unidad | Constante | Intervalo |
| BF | >∞ | Por Determinar | MI | | Por Determinar |
| | + | Por Determinar | MI | | Por Determinar |
| | 0 | Por Determinar | MI | | Por Determinar |
| | - | Por Determinar | MI | | Por Determinar |
| | <∞ | Por Determinar | MI | | Por Determinar |

Adaptado de Khuri, 1987.

En la tabla 11, se puede observar la estructura matemática que se utilizó para obtener las diferentes dosimetrías con los volúmenes que se deberán aplicar en los tratamientos en campo para luego comprobarlo con el modelo de método de superficies de respuesta (MSR).

Tabla 12 Método Utilizado para Obtener la Dosimetría para Pruebas de Concentración de Biofork

| DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-----------------|--------|--------------|----------------|
| | Rango | Concentración X | Unidad | Constante ml | Intervalo |
| BK | $>\infty$ | Por Determinar | x | 5 | Por Determinar |
| | + | Por Determinar | x | 5 | Por Determinar |
| | 0 | Por Determinar | x | 5 | Por Determinar |
| | - | Por Determinar | x | 5 | Por Determinar |
| | $<\infty$ | Por Determinar | x | 5 | Por Determinar |

Adaptado de Khuri, 1987.

En la tabla 12, se puede observar la diferente dosimetría con las concentraciones que se deberán aplicar en los tratamientos en campo. Para luego comprobar con el modelo de método de superficies de respuesta (MSR).

Tabla 13 Determinación de Puntos Axiales por codificación

| Y | Dosis (ml) | X | Concentración (X) |
|------|----------------|------|-------------------|
| 1,4 | Por Determinar | -1,4 | Por Determinar |
| 1 | Por Determinar | -1 | Por Determinar |
| 0 | Por Determinar | 0 | Por Determinar |
| -1 | Por Determinar | 1 | Por Determinar |
| -1,4 | Por Determinar | 1,4 | Por Determinar |

Los puntos axiales que se obtuvieron en el proyecto, determinan el número de tratamientos que se desean experimentar y se puede observar que se encuentran por 0 (central), 1, -1, 1.4 y -1.4 como los valores estándar para codificar. Al inicio de la experimentación no se tiene una idea clara de lo que va a resultar por lo que la codificación de -1.4 a 1.4 son imprescindibles al usar este modelo de dos variables. Estos puntos axiales serán decodificados en el momento de realizar la regresión multivariable para obtener datos representativos y reales.

Tabla 14 Combinaciones posibles para determinar tratamientos Biofol vs Biofork

| # Fila | Bio for K | Bio fol | # Fila | Bio for K | Bio fol |
|--------|-----------|---------|--------|-----------|---------|
| 1 | 0 | 1,4 | 8 | -1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 9 | 0 | 0 |
| 3 | 1,4 | 0 | | | |
| 4 | 1 | -1 | | | |
| 5 | 0 | -1,4 | | | |
| 6 | -1 | -1,4 | | | |
| 7 | -1,4 | 0 | | | |

Para determinar los valores específicos que se deben administrar en las plantas se realizó una confrontación de las dosis comerciales presentados por el laboratorio BIOGENETICAGREEN C.A versus los valores Recuperado s luego de realizar un diseño experimental factorial 2 K por superficies de respuesta mediante regresión multivariable, formulando la siguiente ecuación:

(Ecuación 5)

$$Y = ax_1 + bx_2 + cx_1^2 + dx_2^2 + ex_1x_2 + f(\text{error}).$$

Donde “Y” se presenta como la variable dependiente; número de hojas, diámetro de tallo, altura de la planta, área foliar y grados Brix. Las variables independientes (aX_1 , bX_2 , cX_3 , dX_4 , eX_5) representan las interacciones de los factores de concentración y volumen a analizar. Para llegar al punto de optimización se requiere utilizar un intercepto (f) error el cual se debe tratar de minimizar. Los factores analizados se obtienen en base a la codificación de las variables de concentración para esto se nombró a la concentración con la letra (X) ya que es la unidad que utiliza el laboratorio BIOGENETICAGREEN C.A para clasificar sus diferentes concentraciones de productos, de la misma forma se analizará el volumen medido en (ml) con lo cual se obtendrán los datos para realizar la dosimetría de prueba en nueve diferentes tratamientos (Kuehl, 2000).

2.4.1 Diluciones de producto Biofor K.

Ejemplo:

(Ecuación 6)

$$C1V1 = C2V2$$

$$10x \cdot V1 = 9,2 \cdot 1L$$

$$V1 = 9,2 \cdot 1 / 10$$

$$9,2L$$

$$0,92L10X + 0,08LH2O = 1L \ 9,2X$$

Tabla 15 Método de análisis: Análisis de Datos Y = respuesta X = Todas las interacciones

| Y | x1 | x2 | x1 ² | X2 ² | X1*X2 | var1 | var2 |
|-----------|---------|--------|-----------------|-----------------|-------|----------------|------|
| Respuesta | | | | | | | |
| Hojas | Biofork | Biofol | Interacciones | | | Decodificación | |

2.4.2 Regresión multivariable propuesta para obtener puntos óptimos

(Ecuación 7)

$$y = ax1 + bx2 + cx1^2 + dx2^2 + cx1x2 + f$$

$$\frac{dy}{dx} = a + 2x1C + cx2$$

$$0 = a + 2x1C + cx2 \quad 1$$

$$\frac{dy}{dx2} = b + 2dx2 + cx1$$

$$0 = b + 2dx2 + cx1 \quad 2$$

Dónde:

(Ecuación 8)

$$X1: \frac{-2ebc + ae^2 - ae^2 + 4adc}{2c(e^2 - 4dc)} \quad \text{Datos de coeficiente para multivariable}$$

(Ecuación 9)

$$X2: \frac{2bc-ae}{(e^2-4dc)-a} \text{ Datos de coeficiente para multivariable}$$

Por medio del desglose de las fórmulas anteriores de X1 (Biofol) y X2 (Biofork) se realiza una decodificación utilizando la fórmula;

(Ecuación 10)

$$X1, X2 = \frac{VN (\text{Valor Natural}) + PC(\text{Punto Central})}{\text{Salto}}$$

Con este resultado se obtiene los puntos óptimos dentro de los cuales se observa que para obtener una respuesta Y de la fórmula multivariable puntos X1 y X2 determina el volumen vs concentración de los productos para tener una respuesta eficaz y una modelización matemática óptima con infinidad de puntos analizados.

2.6 Hipótesis

La aplicación por inyección de bioestimulantes y fertilización avanzada al sistema vascular en el cultivo de plátano barraganete mejora su conversión a caja, desarrollo morfológico vegetal y rendimiento lo cual puede ser comprobado en un modelo matemático de superficies de respuesta.

3. MODELO MATEMÁTICO DE PREDICCIÓN POR OPTIMIZACIÓN CON RESPECTO A SUPERFICIE DE RESPUESTA

Mediante la modelización de puntos infinitos se logró presentar la respuesta y optimización de resultados que parten del uso de la codificación de variables para obtener un espectro de datos que abarcan desde el punto más mínimo hasta el máximo a ser investigado. La bioinformática es la clave de la bio ciencia con la cual podemos entender y manejar los datos Recuperados en la experimentación de las plantas de plátano tratadas, los diseños de segundo orden, permiten que la estimación de parámetros de un modelo polinomial grado dos sea factible (Khuri y Cornell, 1996).

El entender y manejar datos agrícolas o sistemas de configuración de datos permiten en la presente investigación determinar las curvaturas indicadas para observar de una forma más representativa los cruces y combinaciones que se necesitan por tratamiento de Biofol vs Biofork. Por ende se propuso el modelo matemático de superficies de respuesta aplicado por Khuri con el cual los resultados sirven para predecir un punto óptimo de aplicación de producto en un tratamiento específico. Como se podrá observar en esta investigación, la metodología de superficie de respuesta es el conjunto de técnicas que radican en construir un experimento para obtener la mejor combinación de variables para un tratamiento. Este método busca producir una adecuada respuesta que se acople a la cantidad y tipo de datos que se obtuvieron en campo.

Con el análisis de superficie de respuesta se demostró que pese a que el metabolismo de las plantas no tiene un orden específico he interactúan libremente, la ciencia bio analítica permite la modelización de fenómenos y su visualización de respuestas con lo que se comprobó en campo el desarrollo de las plantas y sus cambios fisiológicos desde un análisis morfológico. Es por esto que al generar la hipótesis adecuada los parámetros estudiados del modelo, determinaron la configuración óptima de los factores experimentados, produciendo un valor máximo y mínimo de respuesta.

En la tabla 19 y 20 se puede observar la determinación de volumen y concentración de los productos Biofol y Biofork. El análisis de dosimetría para Biofol parte desde un rango mínimo de 8 ml hacia un máximo de 22 ml en los cuales para poder obtener los intervalos se identificó una región experimental. Esta región experimental parte de un centro 0 que es equivalente a un valor 5 codificado como punto medio de la región experimental. Se realizó un análisis y calculo desde el punto medio para poder obtener las dosis superiores e inferiores. Según la teoría del análisis de intervalos, se debe partir de un punto hipotético con el cual se otorgan valores cercanos como es en este caso el número 5 el cual hacia arriba llega a 20 ml y hacia abajo a 10 ml. Cuando el valor Recuperado se aproximó a su máximo rango se utilizó la constante obtenida de alfa para poder dar el salto al valor máximo de la dosis y el mínimo de la dosis. Para el caso de Biofol se llegó a un máximo de 22 ml y un mínimo de 8 ml, mientras que para la dosimetría de Biofork se obtuvieron dos concentraciones, una máxima de 9.2 X y una mínima de 0.8 X.

Tabla 19 Determinación de Intervalos Biofol

| Tabla 2 | DETERMINACIÓN DE VOLUMEN | | | Constante | REGIÓN EXPERIMENTAL | |
|------------|--------------------------|-----------|--------|-----------|---------------------|----------|
| | Rango | Volumen Y | Unidad | | Intervalo | Cálculo: |
| BF | $> \infty$ | 22 | MI | | 7 | 5*1,4 |
| | + | 20 | MI | | 5 | 7 |
| | 0 | 15 | MI | | 5 | 7,0-5 |
| | - | 10 | MI | | 5 | 2 |
| | $< \infty$ | 8 | MI | | 7 | |

Mediante la determinación de los 5 intervalos se llegó a obtener un diseño de estrella a una distancia de α (Alfa) = 1.414 del punto central determinado por ser rotatable, estos puntos de estrella codificados son los que determinan las combinaciones de los productos Biofol y Biofork que establecerán los tratamientos. Donde el número de tratamientos se determina por; $N = 2^k + 2k + C_0$. En la figura 13 y 14 se puede observar la estructura tridimensional de estrella donde dan lugar a las interacciones experimentales.

Tabla 20 Determinación de Intervalos Biofork

| Tabla | DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN | | | REGIÓN EXPERIMENTAL | | |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------|---------------------|-----------|-----------|
| | Rango | Concentración X | Unidad | Constante | Intervalo | Calculo: |
| BK | $> \infty$ | 9,2 | X | 5ml | 1,2 | $3 * 1,4$ |
| | + | 8 | X | 5ml | 3 | 4,2 |
| | 0 | 5 | X | 5ml | 3 | 4,2-3 |
| | - | 2 | X | 5ml | 3 | 1,2 |
| | $< \infty$ | 0,8 | X | 5ml | 1,2 | |

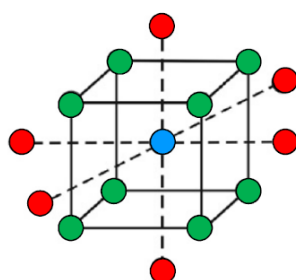


Figura 15 Diseño rotable para dos factores usando $\alpha = 1.414$
Adaptado de Khuri y Cornell 1996

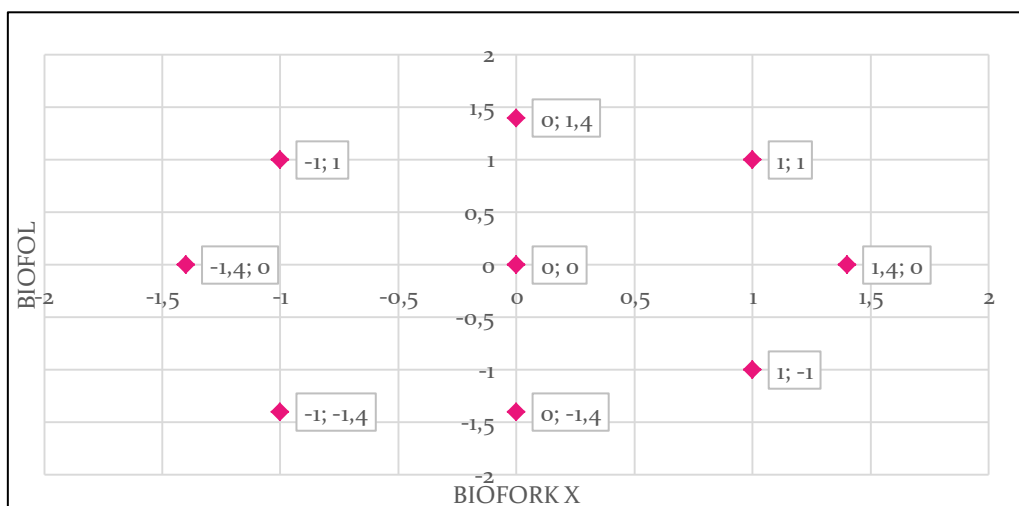


Figura 16 Diseño experimental de estrella para determinación de tratamientos.
Adaptado de Khuri y Cornell 1996

El diseño de estrella se puede observar tabulado en forma de dosis y tratamientos en la tabla 21 donde los ejes Y y X pasaran a formar parte del análisis de superficie de respuesta y se complementará con un eje Z que dispone de las respuestas estadísticas de los datos recuperados en campo de las variables analizadas he ingresados en el sistema.

Tabla 21 Determinación de puntos axiales

| Eje | Unidad | Eje | Unidad |
|------|--------|------|--------|
| Y | cc | X | x |
| 1,4 | 22 | -1,4 | 0,8 |
| 1 | 20 | -1 | 2 |
| 0 | 15 | 0 | 5 |
| -1 | 10 | 1 | 8 |
| -1,4 | 8 | 1,4 | 9,2 |

Tabla 22 Identificación de tratamientos y mejores respuestas.

| Cinta | Producto | Volumen/Concentración | Unidad |
|---------------|----------|-----------------------|--------|
| Tratamiento 1 | Biofol | 15 | ml |
| | Biofork | 9,2 | X |
| Tratamiento 2 | Biofol | 10 | ml |
| | Biofork | 5 | X |
| Tratamiento 3 | Biofol | 8 | ml |
| | Biofork | 5 | X |
| Tratamiento 4 | Biofol | 10 | ml |
| | Biofork | 2 | X |
| Tratamiento 5 | Biofol | 15 | ml |
| | Biofork | 0,8 | X |
| Tratamiento 6 | Biofol | 20 | ml |
| | Biofork | 2 | X |
| Tratamiento 7 | Biofol | 22 | ml |
| | Biofork | 5 | X |
| Tratamiento 8 | Biofol | 20 | ml |
| | Biofork | 8 | X |
| Tratamiento 9 | Biofol | 15 | ml |
| | Biofork | 5 | X |

Nota: Se observa en la tabla 22 los 9 tratamientos codificados con colores, y descrito cada producto con su respectiva dosimetría y unidad que se utilizó en el experimento. Se estandarizó las unidades de medida como el laboratorio Biogeneticagreen C.A sugirió, determinando ml para dosis de Biofol y X para los niveles de concentración de Biofork.

En la presente tabla 22 se puede visualizar el resultado del diseño de puntos axiales organizados y estandarizados. La identificación presente de

tratamientos fue aplicado en las plantas descritas en el capítulo 1 y organizadas de forma al azar como se indica en las tablas 16, 17, y 18 del capítulo 2 de metodología en el subíndice 2.5 localización de tratamientos.

3.1 Altura de mata madre

Tabla 23 Respuestas e interacciones para altura de tallo

| Y | x1 | x2 | x1 ² | X2 ² | X1*X2 | var1 | var2 |
|-----------------------|---------|--------|-----------------|-----------------|-------|----------------|------|
| Respuesta Altura % | Biofork | Biofol | | | | Decodificación | |
| 43,9 | 0 | 1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 5 | 22 |
| 40,1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | 20 |
| 26,0 | 1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 0 | 9,2 | 15 |
| -13,1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 8 | 10 |
| -2,0 | 0 | -1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 5 | 8 |
| -38,2 | -1 | -1,4 | 1 | 1,96 | 1,4 | 2 | 8 |
| 19,2 | -1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 0 | 0,8 | 15 |
| 10,6 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 2 | 20 |
| -4,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 15 |

Tabla 24 Estadística de la regresión para altura de planta

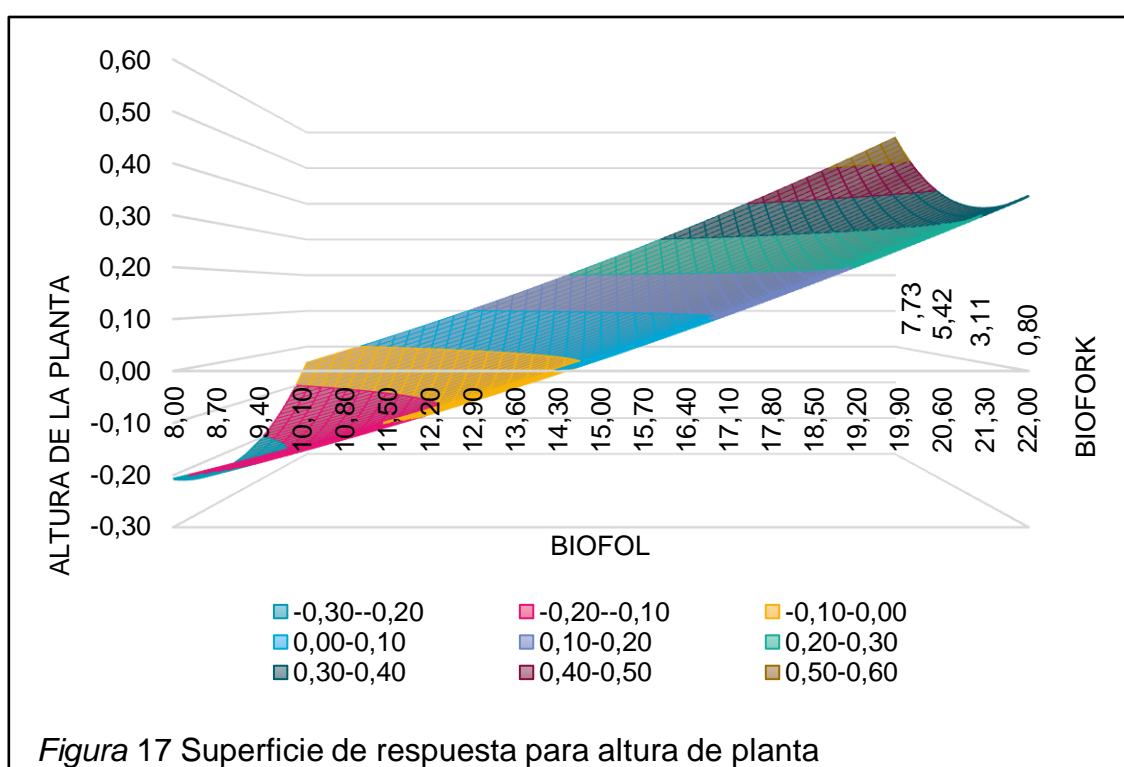
| | |
|--|------|
| Coefficiente de correlación múltiple | 0,88 |
| Coefficiente de determinación R ² | 0,77 |
| R ² ajustado | 0,40 |
| Error típico | 0,20 |
| Observaciones | 9 |

Tabla 25 Análisis de varianza para altura de planta

| | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F | Valor crítico de F |
|-----------|--------------------|-------------------|---------------------------|-------------|--------------------|
| Regresión | 5 | 0,434901109 | 0,086980222 | 2,096312569 | 0,287955233 |
| Residuos | 3 | 0,12447603 | 0,04149201 | | |
| Total | 8 | 0,559377139 | | | |

Tabla 26 Análisis estadístico para altura de planta

| | | Coef | Error típico | Estadístico t | Probabilidad | Inferior 95% | Superior 95% | Inferior 95,0% | Superior 95,0% |
|---------|--------------|--------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| f error | Intercepción | 0,0423 | 0,1973 | 0,2143 | 0,8441 | -0,5857 | 0,6703 | -0,5857 | 0,6703 |
| A | Variable X 1 | 0,0734 | 0,0735 | 0,9994 | 0,3912 | -0,1604 | 0,3072 | -0,1604 | 0,3072 |
| B | Variable X 2 | 0,2099 | 0,0705 | 2,9758 | 0,0588 | -0,0146 | 0,4343 | -0,0146 | 0,4343 |
| C | Variable X 3 | 0,0458 | 0,1153 | 0,3971 | 0,7179 | -0,3213 | 0,4129 | -0,3213 | 0,4129 |
| D | Variable X 4 | 0,0181 | 0,1101 | 0,1646 | 0,8797 | -0,3322 | 0,3684 | -0,3322 | 0,3684 |
| E | Variable X 5 | 0,0110 | 0,0966 | 0,1137 | 0,9167 | -0,2965 | 0,3185 | -0,2965 | 0,3185 |



En la figura 17 se observa un crecimiento exponencial pero que no puede ser optimizado precisamente con este método. Se observa una tendencia en el aumento de altura por el uso de fertilizantes por lo que se puede corroborar que las plantas con problemas de crecimiento que estuvieron aletargadas y enanas presentaron un incremento de altura. En el momento que se realizó la decodificación de los resultados se observó que estadísticamente la dosis aceptable para Biofol es de 19.15 ml. Esto muestra que las dosis aplicadas superiores a 15 ml y a concentraciones superiores a 5 X ayudan a que la planta

tenga una mayor altura, pese a esto se comprobó en campo que dosis muy altas de Biofol puede generar la muerte de la planta por oclusión de vasos y sobrecarga de nutrientes. Por lo que las plantas dosificadas con estas altas aplicaciones murieron por pudrición.

Codificación

$X1 = (Vn \text{ Valor Natural} + Pc \text{ Punto Central}) / \text{Salto}$

Vn 19,15850971

$X2 = (Vn \text{ Valor Natural} + Pc \text{ Punto Central}) / \text{Salto}$

Vn 5,721267181

3.2 Diámetro de tallo madre

Tabla 27 Respuesta e interacciones para diámetro de tallo

| Y | x1 | x2 | x1 ² | X2 ² | X1*X2 | var1 | var2 |
|-------------------------------------|---------|--------|-----------------|-----------------|-------|----------------|------|
| Respuesta Diámetro de Tallo % | Biofork | Biofol | | | | Decodificación | |
| 9,5 | 0 | 1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 5 | 22 |
| 38,7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | 20 |
| 28,5 | 1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 0 | 9,2 | 15 |
| -21,9 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 8 | 10 |
| 6,6 | 0 | -1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 5 | 8 |
| 16,1 | -1 | -1,4 | 1 | 1,96 | 1,4 | 2 | 8 |
| 54,8 | -1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 0 | 0,8 | 15 |
| 16,8 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 2 | 20 |
| 6,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 15 |

Tabla 28 Estadística de la regresión para diámetro de tallo

| | |
|---|------|
| Coeficiente de correlación múltiple | 0,90 |
| Coeficiente de determinación R ² | 0,81 |
| R ² ajustado | 0,49 |
| Error típico | 0,15 |
| Observaciones | 9 |

Tabla 29 Análisis de varianza para diámetro de tallo

| | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F | Valor crítico de F |
|-----------|--------------------|-------------------|---------------------------|------------|--------------------|
| Regresión | 5 | 0,309506551 | 0,06190131 | 2,57401894 | 0,233224252 |
| Residuos | 3 | 0,072145518 | 0,024048506 | | |
| Total | 8 | 0,381652069 | | | |

Optimización

$$y = ax_1 + bx_2 + cx_1^2 + dx_2^2 + cx_1x_2 + f$$

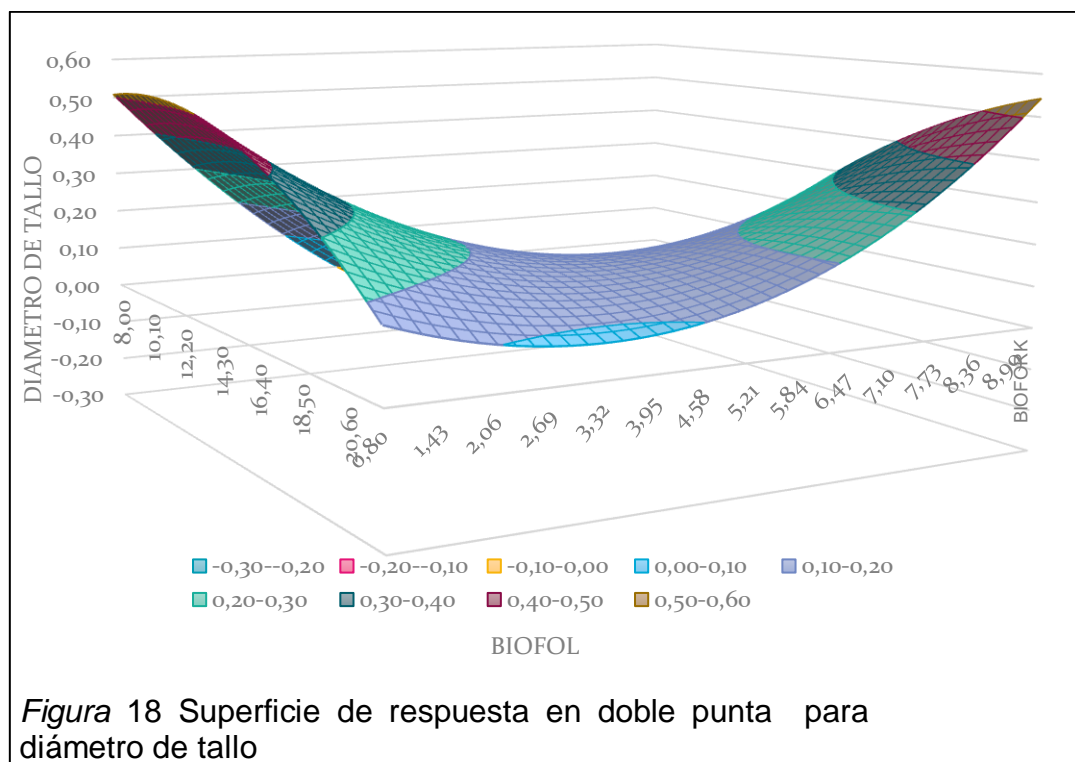
$$Y = 14\%$$

$$X_1 = 0,176247841$$

$$X_2 = 0,24648426$$

Tabla 30 Análisis estadístico para diámetro de tallo

| | | Coef | Error típico | Estadístico t | Probabilidad | Inferior 95% | Superior 95% | Inferior 95,0% | Superior 95,0% |
|---|-------------------------|---------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| f | Intercepción | 0,1289 | 0,1502 | 0,8582 | 0,4539 | -0,3492 | 0,6070 | -0,3492 | 0,6070 |
| a | Variable X ₁ | -0,0715 | 0,0559 | -1,2788 | 0,2909 | -0,2495 | 0,1065 | -0,2495 | 0,1065 |
| b | Variable X ₂ | 0,0839 | 0,0537 | 1,5625 | 0,2161 | -0,0870 | 0,2548 | -0,0870 | 0,2548 |
| c | Variable X ₃ | 0,1207 | 0,0878 | 1,3746 | 0,2629 | -0,1587 | 0,4002 | -0,1587 | 0,4002 |
| d | Variable X ₄ | -0,0657 | 0,0838 | -0,7835 | 0,4905 | -0,3324 | 0,2010 | -0,3324 | 0,2010 |
| e | Variable X ₅ | 0,1471 | 0,0736 | 2,0000 | 0,1393 | -0,0870 | 0,3812 | -0,0870 | 0,3812 |



El comportamiento óptimo de una respuesta puede ser afectado por varios factores, al momento de obtener una superficie en forma de silla de montar o minimax se realizó un análisis de contornos, con lo que se determinó un óptimo global. Este comportamiento depende de más de una respuesta de una variable por lo que la optimización de crecimiento de diámetro de tallo tiene 4 posibles interacciones. En primer lugar se observa en la zona media una fase de estancamiento donde se presenta un crecimiento del 20 % en comparación al punto 0 con una dosis de 15 ml y una concentración de 5 X, este punto se puede observar como el óptimo a comprobar pero es una respuesta muy baja para ser el punto óptimo de interacción. Mientras que en los dos extremos se observan dos resultados fuera de lo normal. En el primer caso se puede observar que estadísticamente el tratamiento de 9 ml de Biofol a una concentración de 0.80 X tendría un aumento de tallo en un 55% lo cual supera el resultado del punto central y de la misma forma se observa un resultado de 55 % de crecimiento del tallo si se aplica 20.25 ml de Biofol a una concentración de 9 X. Estos dos extremos representan la variabilidad que se puede tener utilizando solo análisis estadístico para representar la interacción de productos bioestimulantes en sujetos de prueba vivos, como son las plantas

de plátano analizadas. El ensayo presenta una probabilidad de 0.45 sobre 1 y un error de 0.15 sobre 1 y un R cuadrado ajustado de 0.49 lo cual indica que solo se tiene una tendencia más no una optimización, estas imperfecciones en la optimización del modelo se encuentran previstas y por esta razón la comprobación en campo es esencial.

Codificación

$$X1 = (Vn \text{ Valor Natural} + Pc \text{ Punto Central}) / \text{Salto}$$

$$Vn = 14,11876079$$

$$X2 = (Vn \text{ Valor Natural} + Pc \text{ Punto Central}) / \text{Salto}$$

$$Vn = 4,260547219$$

Se observa que para tener la mínima respuesta en Y de 14 % de diámetro del tallo se debe aplicar una cantidad de 14.11 ml de Biofol a una concentración mínima de 4.26 X, pero si se quiere llegar al óptimo de producción que se encuentra en 57 % se debe utilizar una dosis de 8 ml a una concentración que puede llegar a más de 8 X. Esto demuestra que la concentración puede seguir aumentando y brindando un gran beneficio a la planta pero que mientras la concentración aumenta la dosis debe ser menor para no taponar los conductos de la planta y que esta muera.

3.3 Número de Hojas madre

Tabla 31 Respuestas e interacciones en número de hojas

| Y | x1 | x2 | x1 ² | X2 ² | X1*X2 | var1 | var2 |
|--------------------|---------|--------|-----------------|-----------------|-------|----------------|------|
| Respuesta Foliar % | Biofork | Biofol | | | | Decodificación | |
| 33 | 0 | 1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 5 | 22 |
| 22 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | 20 |
| -11 | 1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 0 | 9,2 | 15 |
| 33 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 8 | 10 |
| 44 | 0 | -1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 5 | 8 |
| 44 | -1 | -1,4 | 1 | 1,96 | 1,4 | 2 | 8 |
| 0 | -1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 0 | 0,8 | 15 |
| 39 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 2 | 20 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 15 |

Tabla 32 Estadísticas de la regresión número de hojas

| | |
|--|------|
| Coefficiente de correlación múltiple | 0,92 |
| Coefficiente de determinación R ² | 0,84 |
| R ² ajustado | 0,59 |
| Error típico | 0,12 |
| Observaciones | 9 |

Tabla 33 Análisis de varianza número de hojas

| | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F | Valor crítico de F |
|-----------|--------------------|-------------------|---------------------------|-------------|--------------------|
| Regresión | 5 | 0,256892533 | 0,051378507 | 3,331761271 | 0,175380884 |
| Residuos | 3 | 0,046262474 | 0,015420825 | | |
| Total | 8 | 0,303155007 | | | |

Optimización

$$y = ax_1 + bx_2 + cx_1^2 + dx_2^2 + cx_1x_2 + f$$

$$Y = 20\%$$

Codificación

$$X_1 = (V_n \text{ Valor Natural} + P_c \text{ Punto Central}) / \text{Salto}$$

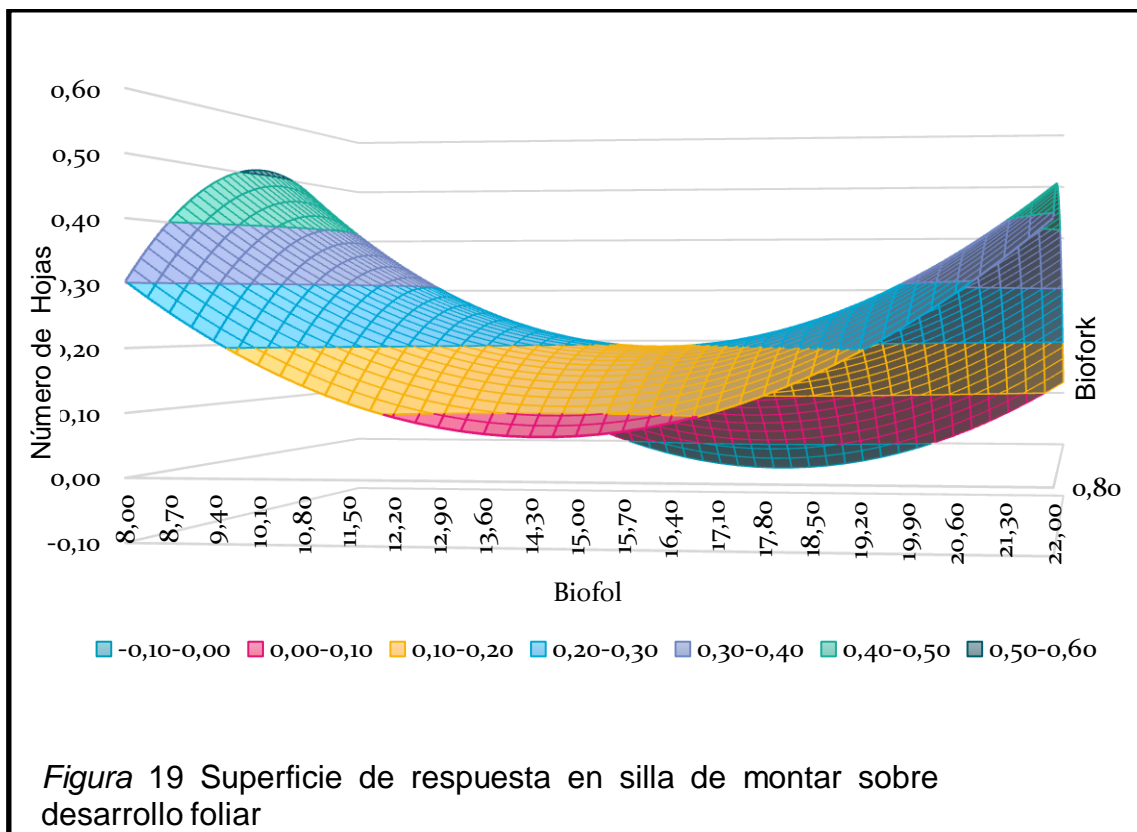
$$V_n = 16,02006534$$

$$X_2 = (V_n \text{ Valor Natural} + P_c \text{ Punto Central}) / \text{Salto}$$

$$V_n = 4,894044634$$

Tabla 34 Análisis estadístico para número de hojas

| | | Coef | Error típico | Estadístico t | Probabilidad | Inferior 95% | Superior 95% | Inferior 95,0% | Superior 95,0% |
|---------|--------------|---------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| f Error | Intercepción | 0,1937 | 0,1203 | 1,6105 | 0,2057 | -0,1891 | 0,5766 | -0,1891 | 0,5766 |
| a | Variable X 1 | -0,0383 | 0,0448 | -0,8551 | 0,4553 | -0,1808 | 0,1042 | -0,1808 | 0,1042 |
| b | Variable X 2 | -0,0266 | 0,0430 | -0,6189 | 0,5798 | -0,1635 | 0,1102 | -0,1635 | 0,1102 |
| c | Variable X 3 | -0,0908 | 0,0703 | -1,2910 | 0,2872 | -0,3146 | 0,1330 | -0,3146 | 0,1330 |
| d | Variable X 4 | 0,1418 | 0,0671 | 2,1128 | 0,1250 | 0,0718 | 0,3554 | 0,0718 | 0,3554 |
| e | Variable X 5 | -0,0418 | 0,0589 | -0,7088 | 0,5296 | -0,2292 | 0,1457 | -0,2292 | 0,1457 |



El método de superficie de respuesta para el caso del desarrollo foliar se da en forma de minimax o silla de montar, no se logra optimizar los tratamientos pero se observa que en realidad lo que sucede es una minimización de la aplicación de productos lo que implica que la mínima respuesta que se puede observar la cual es el 20 % de desarrollo de nuevas hojas se logra por la aplicación de un valor de 16.02 ml de biofol y 5 ml de biofork a una concentración mínima de 4.89 esto se comprueba al resolver la multivariable de optimización en Y obteniendo de igual manera un 20%.

Se observa en la gráfica de silla que se puede llegar a obtener un 50% y 60 % de respuesta foliar al utilizar una concentración mayor que 4.89 X y una dosis de 8 ml. Cabe recalcar que en los análisis estadísticos se muestra también que con una aplicación de 22 ml se puede obtener un buen resultado, pero en la comprobación en campo se observó que las plantas no soportan dosis tan altas por lo que se queman y mueren. Pese a que el coeficiente de confiabilidad es de 0.92, se estima que condiciones climáticas y microbiológicas son las causales para que esta variabilidad de respuestas en campo se dé. La

estructura en forma minimax es el punto mínimo en el cual se observa un efecto positivo.

3.4 Grados Brix

Tabla 35 Respuestas e interacciones en grados Brix

| Y | X1 | X2 | X1 ² | X2 ² | X1xx2 | Var1 | Var2 |
|--------------------------|---------|--------|-----------------|-----------------|-------|----------------|------|
| Respuesta grados Brix | Biofork | Biofol | | | | Decodificación | |
| 16 | 0 | 1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 5 | 22 |
| 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | 20 |
| 2 | 1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 0 | 9,2 | 15 |
| 10 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 8 | 10 |
| 9 | 0 | -1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 5 | 8 |
| 8 | -1 | -1,4 | 1 | 1,96 | 1,4 | 2 | 8 |
| 7 | -1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 0 | 0,8 | 15 |
| 8 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 2 | 20 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 15 |

Tabla 36 Estadísticas de la regresión para grados Brix

| | |
|--|------|
| Coefficiente de correlación múltiple | 0,84 |
| Coefficiente de determinación R ² | 0,70 |
| R ² ajustado | 0,22 |
| Error típico | 3,42 |
| Observaciones | 9 |

Tabla 37 Análisis de varianza para grados Brix

| | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F | Valor crítico de F |
|-----------|--------------------|-------------------|---------------------------|------------|--------------------|
| Regresión | 5 | 85,6425565 | 17,1285113 | 1,45789733 | 0,40187249 |
| Residuos | 3 | 35,2463323 | 11,7487774 | | |
| Total | 8 | 120,888888 | | | |

Codificación

$X1 = (Vn \text{ Valor Natural} + Pc \text{ Punto Central}) / \text{Salto}$

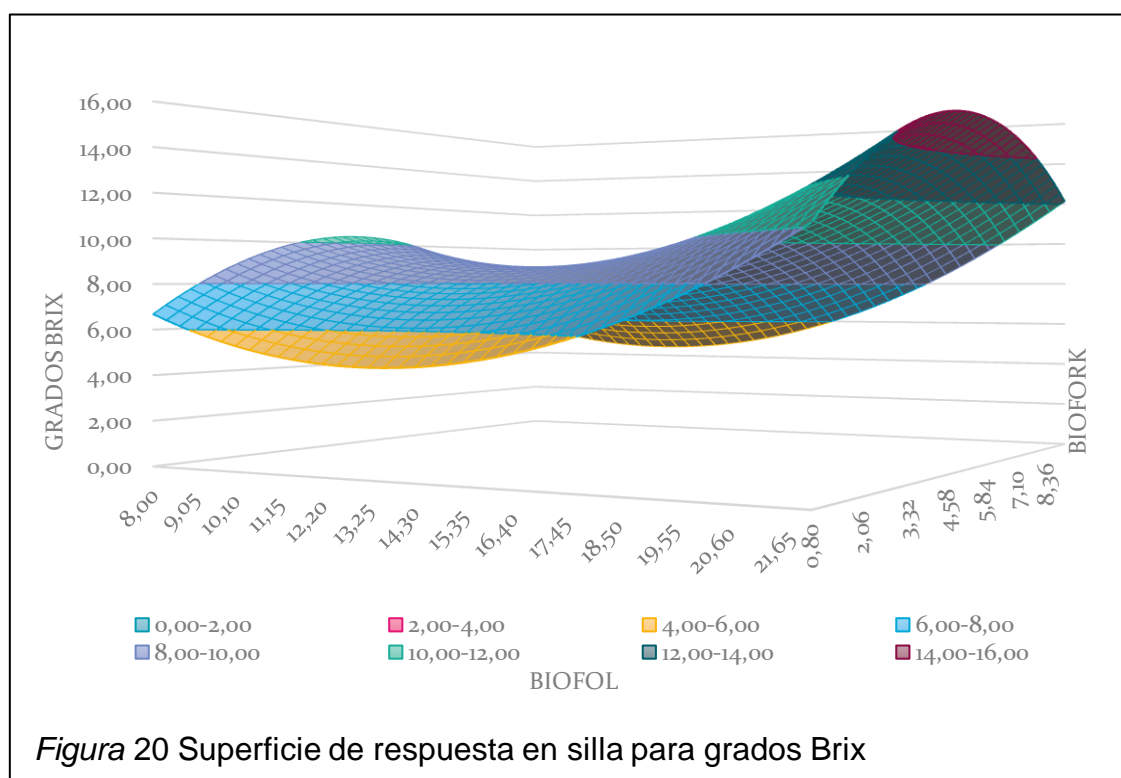
$Vn = 12,51844249$

$X2 = (Vn \text{ Valor Natural} + Pc \text{ Punto Central}) / \text{Salto}$

Vn 6,469504302

Tabla 38 Análisis estadístico para grados Brix

| | | Coef | Error típico | Estadístico t | Probabilidad | Inferior 95% | Superior 95% | Inferior 95,0% | Superior 95,0% |
|---|--------------|--------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| f | Intercepción | 9,247 | 3,320 | 2,785 | 0,069 | -1,321 | 19,814 | -1,321 | 19,814 |
| a | Variable X 1 | 0,153 | 1,236 | 0,124 | 0,909 | -3,781 | 4,087 | -3,781 | 4,087 |
| b | Variable X 2 | 1,799 | 1,187 | 1,516 | 0,227 | -1,978 | 5,576 | -1,978 | 5,576 |
| c | Variable X 3 | -2,158 | 1,941 | -1,112 | 0,347 | -8,334 | 4,019 | -8,334 | 4,019 |
| d | Variable X 4 | 1,851 | 1,852 | 0,999 | 0,391 | -4,044 | 7,746 | -4,044 | 7,746 |
| e | Variable X 5 | 0,388 | 1,626 | 0,239 | 0,827 | -4,787 | 5,563 | -4,787 | 5,563 |



El estudio de superficie de respuesta para analizar el aumento o disminución de grados Brix en la fruta, muestra que se puede llegar a un promedio de 10 grados Brix en la pulpa de plátano barraganete. Lo cual indica que el aumento de fertilizantes y bioestimulantes produce un cambio en la fisiología de la planta realizando rápidamente un aumento en los almidones de la fruta y una mayor concentración de azúcares. Este proceso se puede comprobar con el tiempo de maduración y desarrollo lo cual indica que al crecer de una forma más rápida,

el tiempo de cosecha para obtener frutos de exportación será también más rápido disminuyendo el tiempo de cosecha de 10 a 8 meses. Esta respuesta es muy importante ya que determina el tiempo de cosecha y las condiciones que se deben controlar en pos cosecha para poder enviar fruta de calidad al exterior del país. Se observa que en caso de utilizar un exceso de fertilizantes y bioestimulantes la concentración de azúcares en la pulpa sería alta y esto haría que la fruta se madure apresuradamente dando problemas en el transporte y en parar el ciclo de maduración del etileno. Por esto, en la minimización de dosis en la figura 18 se observa que a una concentración de 6.5 X y a una dosis de 12.5 ml de Biofol se puede obtener un resultado constante que no afectara a la pos cosecha de la fruta.

Cabe recalcar que en campo se analizó frutas completamente formadas, y que se observó que los la concentración de azúcares no determina el tamaño o calibre de la fruta de exportación. En ciertos casos se observó que los dedos no cumplían ningún estándar de exportación y que sus grados Brix estaban bajo los 5 puntos. Por eso se determinó que para tener un estándar de exportación la fruta debe tener de entre 10 a 12 grados Brix, en este análisis no es posible realizar una optimización de los tratamientos.

3.5 Área Foliar

Tabla 39 Respuestas e interacciones para área foliar

| Y | X1 | X2 | X1 ² | X2 ² | X1*X2 | Var1 | Var2 |
|----------------------------|---------|--------|-----------------|-----------------|-------|----------------|------|
| Respuesta área foliar % | Biofork | Biofol | | | | Decodificación | |
| 2 | 0 | 1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 5 | 22 |
| 28 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | 20 |
| 13 | 1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 0 | 9,2 | 15 |
| 9 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 8 | 10 |
| 7 | 0 | -1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 5 | 8 |
| -6 | -1 | -1,4 | 1 | 1,96 | 1,4 | 2 | 8 |
| 11 | -1,4 | 0 | 1,96 | 0 | 0 | 0,8 | 15 |
| 10 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 2 | 20 |
| 45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 15 |

Tabla 40 Estadísticas de la regresión para área foliar

| | |
|---|--------|
| Coeficiente de correlación múltiple | 0,94 |
| Coeficiente de determinación R ² | 0,89 |
| R ² ajustado | 0,71 |
| Error típico | 0,0798 |
| Observaciones | 9 |

Tabla 41 Análisis de varianza para área foliar

| | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F | Valor crítico de F |
|-----------|--------------------|-------------------|---------------------------|-------------|--------------------|
| Regresión | 5 | 0,159208363 | 0,031841673 | 4,988655835 | 0,108122359 |
| Residuos | 3 | 0,019148448 | 0,006382816 | | |
| Total | 8 | 0,178356811 | | | |

Tabla 42 Análisis estadístico para área foliar

| | | Coef | Error típico | Estadístico t | Probabilidad | Inferior 95% | Superior 95% | Inferior 95,0% | Superior 95,0% |
|---------|--------------|---------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| f Error | Intercepción | 0,4541 | 0,0774 | 5,8670 | 0,0099 | 0,2078 | 0,7004 | 0,2078 | 0,7004 |
| A | Variable X 1 | 0,0216 | 0,0288 | 0,7511 | 0,5071 | -0,0700 | 0,1133 | -0,0700 | 0,1133 |
| B | Variable X 2 | 0,0155 | 0,0277 | 0,5607 | 0,6142 | -0,0725 | 0,1035 | -0,0725 | 0,1035 |
| C | Variable X 3 | -0,1538 | 0,0452 | -3,3990 | 0,0425 | -0,2977 | -0,0098 | -0,2977 | -0,0098 |
| D | Variable X 4 | -0,1903 | 0,0432 | -4,4088 | 0,0216 | -0,3277 | -0,0529 | -0,3277 | -0,0529 |
| m | Variable X 5 | 0,0476 | 0,0379 | 1,2568 | 0,2978 | -0,0730 | 0,1682 | -0,0730 | 0,1682 |

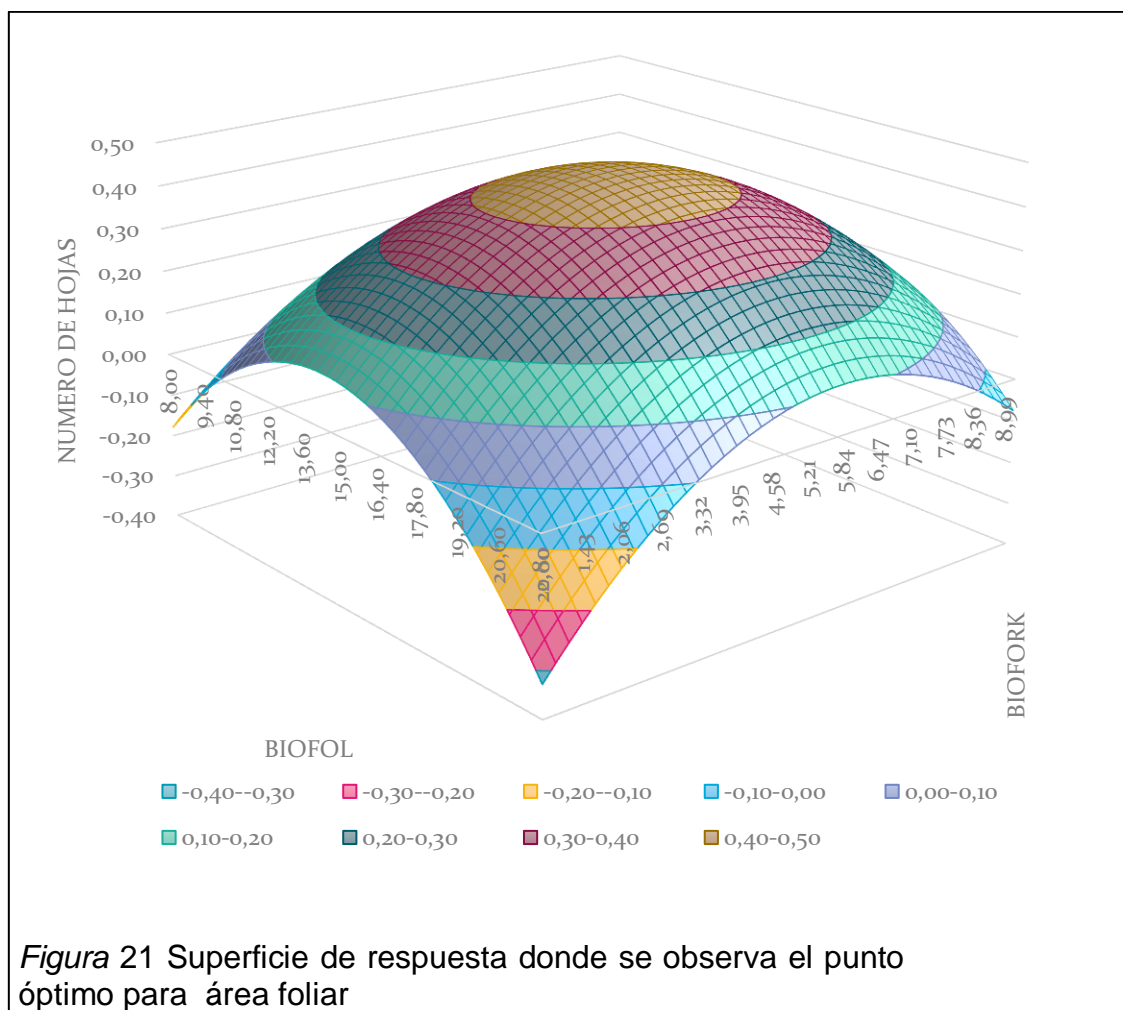
Codificación

$X1 = (Vn \text{ Valor Natural} + Pc \text{ Punto Central}) / \text{Salto}$

Vn 14,64119357

$X2 = (Vn \text{ Valor Natural} + Pc \text{ Punto Central}) / \text{Salto}$

Vn 4,87246706



Optimización

$$y=ax_1+bx_2+cx_1^2+dx_2^2+cx_1x_2+f$$

$$Y= 46\%$$

$$X_1= 0,071761286$$

$$X_2= - 0, 04251098$$

Se puede observar en la figura 19 como se forma un paraguas de datos en el cual el punto más alto es el área de optimización. En este análisis se verifica y se valida que el sistema de superficie de respuesta depende del tipo de resultados que se le proporciona para que la optimización sea verificable en campo. Este gráfico nos demuestra la copa o punto óptimo lo cual especifica en qué valor la empresa puede probar al cliente que resultado se va a tener en el área foliar y con qué tratamiento se va a obtener esos resultados.

Al tener un f crítico tan pequeño de 0.10 y un R^2 de 0.89 se comprueba que el estudio estadístico es significativo con respecto a los análisis. Con la decodificación de los resultados se obtuvo que para tener un 46 % de incremento del área foliar se debe utilizar un tratamiento de 14.64 ml de Biofol y 5 ml de Biofork concentrado a 4.87 X. Esta respuesta frente a el análisis de las anteriores es la comprobación de que para poder obtener las curvaturas deseadas de puntos infinitos se debe identificar primero variables discretas que demuestren en realidad la veracidad del experimento ya que si no se toma una variable adecuada el experimento no llegara a obtener resultados contundentes como es este.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variables de estudio

Se demostró con el análisis de superficies de respuesta que las combinaciones de los factores Biofol y Biofork llegaron a dar respuestas mínimas y máximas de tratamientos, en los cuales respuestas como la altura de la planta, diámetro del tallo y desarrollo foliar no presentaron un punto óptimo exactamente pero si un área de datos donde se puede comprobar el tratamiento en campo. Según las investigaciones de Khuri y Cornell el fundamento de la experimentación por superficie de respuesta no solo se trata de obtener un valor, ya que en ciertos modelos estos valores no podrán ser demostrados, pero si obtener por lo menos un mejor entendimiento de cómo funciona el sistema completo.

La fisiología de las plantas consiste en obtener energía por medio de la fotosíntesis, la cual se da al estar expuesta a ondas de 400 y 700 nm de luz, transformando el fotón de energía hacia carbohidratos. En la fotosíntesis donde se libera la molécula de O_2 por la combinación de agua H_2O un protón de H^+ y uno de CO_2 , existen 2 grupos de plantas de acuerdo a las reacciones bioquímicas que producen carbohidratos, el grupo C3 que viene a ser de las Musas es más susceptible a la cantidad de CO_2 en el aire (Benton, 2001).

Durante estos años se ha mantenido la idea de que los suelos son los responsables de la salud de la planta, pero dentro de varios ensayos se ha demostrado que no solo es el suelo si no la combinación de varios factores intrínsecos y extrínsecos como, ph, genética, residualidad de nutrientes en agua y material vegetativo muerto, pureza del agua y huéspedes amigables. Estos ayudan a la forma de absorción y determina el estado nutricional de la planta. La desnutrición de la planta resultara en crecimiento anormal, fallas en el tiempo de desarrollo del ciclo de vida o muerte prematura de la planta. Los elementos y requerimientos que la planta necesita deben ser específicos para que no remplacen a ningún otro (Benton, 2001).

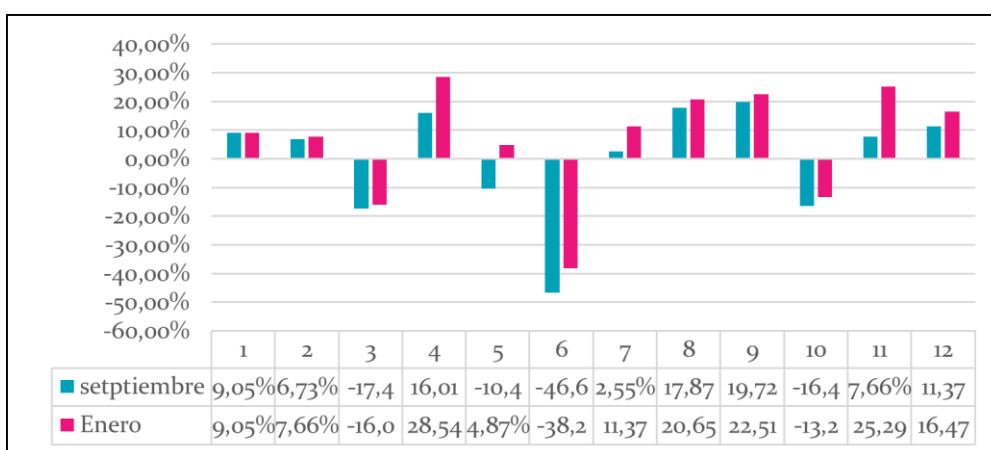


Figura 22 Testigos con porcentaje de desarrollo de altura

Se observa en la figura 20 que los testigos solo muestran un crecimiento máximo de 19.72 % en 5 meses de desarrollo, de la misma forma se determina que si en 5 meses de desarrollo las plantas no tuvieron mejoría ni incremento de altura significativo como se muestra en el sujeto de prueba 1, 2, 3, 8 y 9, se puede afirmar que las plantas con enanismo de los lotes tratados se hubieran mantenido en senescencia.

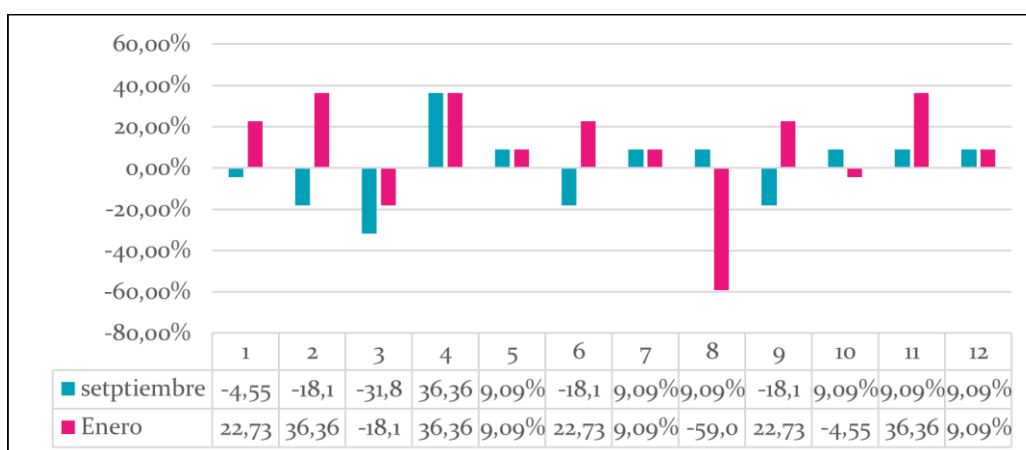


Figura 23 Testigos con porcentaje de desarrollo de Hojas madre

En plantas con fisiología normal el desarrollo de hojas se da cada 15 días promedio, este desarrollo de hojas que se observa en la figura 21 muestra que los testigos sin tratar tienen un crecimiento paulatino, lento y cumplen solo su desarrollo normal del 36.36 % en 5 meses lo que indica que las plantas se

mantienen con un número de hojas de 7.33 en promedio. Esto indica que si las plantas estuvieran floreciendo normalmente los racimos serían clasificados para exportación debido a que el mínimo de hojas para fruta de exportación es de 6 (Romo-Leroux, 2014).

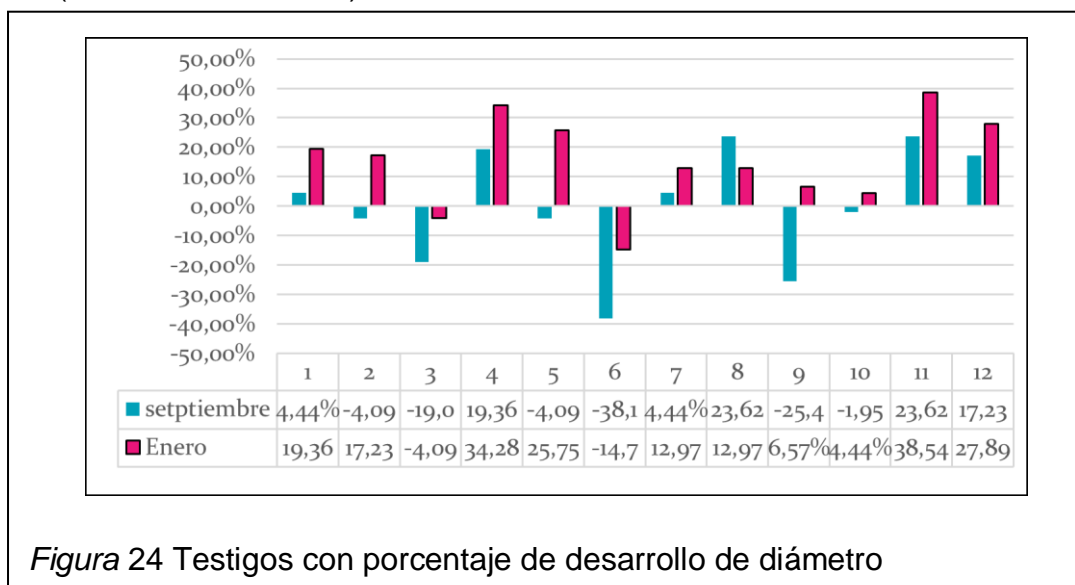


Figura 24 Testigos con porcentaje de desarrollo de diámetro

En la figura 22 se puede observar en promedio que el diámetro de los tallos luego de 5 meses sin abonar aumento en un 18% subiendo a 55.44 cm de diámetro lo cual indica que es un proceso de crecimiento pseudo normal porque las plantas son enanas y si se realiza el cálculo de obtención de manos; $55.44/7$ constante. y se debería tener 7.92 manos lo cual es un dato irreal en estos lotes. Primero porque las plantas no han producido en 14 meses y en segundo lugar porque las muestras obtenidas de las matas que llegaron a producir tuvieron 5 a 6 manos deficientes en calibre y formación.

La velocidad de formación y desarrollo de los cormos están estrechamente relacionados con la cantidad de abono y la fertilización que se le proporciona a la planta, de la misma forma el uso de suelos y la humedad predispone a la planta a crecimientos inadecuados produciendo una maduración temprana en los tejidos del cormo y retardando la iniciación y desarrollo de las vainas laterales. Esto ocasiona que los procesos de crecimiento como desarrollo y diferenciación de los racimos resulten afectados. “Uno de los principales problemas que se presentan en las tierras de América del sur es que en comparación con Europa la erosión de los suelos esta alrededor de 7t/ha frente

a 0.8t/ha” respectivamente, este efecto se debe a las invasiones y colonizaciones en tierras fértiles para la agricultura (Espinoza et al, 1995).

Tabla 43 Promedio de fertilización de suelos en El Carmen de Manabí

| N | | P | | S | | K | | Ca | | Mg | | Cu | | Fe | | Mn | | Zn | | B | | pH | | M O | |
|------------------------------------|---|---|---|-------------------------|---|---|---|----|---|----|---|---------------------|---|----|---|----|---|----|---|-----|---|----|---|--------|---|
| mg kg ⁻¹ | | | | meq100 mL ⁻¹ | | | | | | | | mg kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | M | 5 | B | 7 | M | . | A | 7 | M | 1. | B | 6. | A | 17 | A | 9. | M | 3. | M | 0.2 | M | 5. | A | 8. | A |
| 7 | | | | | 5 | | | | | 4 | | 5 | | 0 | | 7 | | 3 | | 2 | | 4 | c | 0 | |
| A. Alto B. Bajo M. Medio Ac. Ácido | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tomado de Zenteno, 2013.

Tabla 44 Concentración promedio de nutrientes en 50 muestras foliares de plátano de plantaciones de El Carmen, Manabí

| N | | P | | K | | Ca | | Mg | | S | | B | | Cu | | Fe | | Mn | | Zn | |
|---|---|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| 3. | A | 0. | A | 2. | A | 1. | E | 0. | D | 0.2 | E | 25. | A | 11. | A | 254 | A | 70. | D | 16. | D |
| 4 | | 2 | | 9 | | 3 | | 2 | | 8 | | 8 | | 6 | | .1 | | 9 | | 8 | |
| D. Deficiente: A. Adecuado: E. Excesivo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tomado de Zenteno, 2013

La aplicación por inyección es un sistema seguro ya que si se observa la asimilación de nutrientes en el caso del fósforo de 100 % aplicado solo el 15% es absorbido y el 85% es lixiviado hacia el suelo, por ende a los lagos causando el problema conocido como algas azules, hipoxia lo que indica que el oxígeno no es asimilado. La agricultura moderna depende del fósforo para el proceso natural. Muchos de los procesos primarios dependen de la fosforilación, producción de ATP entre otros.

Los productos Biofol y Biofork por su concentración se pueden considerar dentro de los fertilizantes que suministran nutrientes paulatinamente a la planta durante todo el año, por esto solo se da una aplicación por corte de racimo. Como explica Gonzales en el 2015, la prolongación del tiempo de disponibilidad de los nutrientes puede ocurrir por diversos mecanismos que evitan la pérdida del 70% de estos en el suelo. Estos son recubrimiento

semipermeable, oclusión, por polímeros insolubles en agua, organismos nitrógenos naturales, u otras químicas así como: la hidrólisis lenta de compuestos solubles o de poco peso molecular que actúan por otros mecanismos no conocidos en los cuales influyen la solubilidad del material en agua.

No existe una diferencia oficial entre el término liberación lenta y liberación controlada. Sin embargo, la descomposición microbiológica de productos nitrogenados como urea-formaldehídos, normalmente se comercializan como fertilizantes de liberación lenta y los productos recubiertos o encapsulados como fertilizantes de liberación controlada (Gonzales, 2015).

La aplicación de abonos líquidos se realiza mediante bombas y se recomienda que se aplique por el envés para que el producto sea absorbido por los estomas de la hoja. La aplicación del fertilizante con bomba conlleva el uso de diversas boquillas dependiendo la cantidad de N nitrógeno que se quiera aplicar. La cantidad puede ser regulada entre 4 litros / minuto. Finck describe que el beneficio de este tipo de aplicación es que se puede llegar de 10 hasta 300 kg de N/ha con lo cual se puede completar 10 ha/ h (Raghavendra, 2000).

Dentro de los bioestimulantes de Biogeneticagreen C.A se puede determinar la composición de nutrientes, combinados, aminoácidos y ácidos húmicos. Estos últimos son formulaciones líquidas de componentes a base de ácido húmico lo cual es muy común en el uso de fertiriego o en pulverizados facilitando la absorción. El uso de estas formulaciones llega a mejorar la producción, rendimiento y mejora sustentablemente las características de textura, permeabilidad y estructura de los suelos donde se aplican. El uso de bioestimulantes mejora las propiedades mecánicas de las plantas produciendo un ahorro de energía y es recomendable para recuperar cultivos que han sufrido estrés o enfermedades.

En la presente investigación se observa que los productos BK y BF son fertilizantes y bioestimulantes que se presentan de forma quelatada. Los minerales quelatados son un complejo de un ion de metal ligados a una

molécula orgánica. Estos brindan mayor estabilidad y suelen encontrarse en la agricultura como EDTA, DTPA y EDDHA. Parte de los componentes de Biofol y Biofork están presentes como minerales, Zn, Mn, Cu, y Fe estos son susceptibles a la carga negativa de los suelos OH⁻ por lo que se pierde su disponibilidad. El revestimiento del ion metálico que se forma al quelatar, protege a los nutrientes absorbiéndose en un futuro como micronutrientes (Smart - Fertilizer, 2015). Para que esta protección funcione, el quelato protege al catión de otras reacciones químicas, este neutraliza la carga positiva de los metales brindando una carga prácticamente de 0. De esta forma es mucho más fácil ser absorbido ya que la cutícula de las hojas está cargada negativamente. (Molina y Meléndez, 2002). De igual manera al inyectar el producto quelatado en la planta, la resistencia catiónica va a ser menor y va a haber menor posibilidad de que los vasos se taponen dando mayor motilidad a las partículas del producto.

Dentro de las mediciones más comunes en musáceas se encuentra la cuantificación de la emergencia de la nueva hoja que sale en la parte más alta del pseudotallo. Trelease realizó experimentos para medir la influencia de la luz sobre el desarrollo foliar, encontrando que las hojas tienden a crecer en mayor cantidad por la mañana debido a que hay mayor foto asimilación de los nutrientes (Trelease, 2000). Milburn en sus investigaciones determinó que el pseudotallo se encoge por la mañana y por la noche se expande indicando que este funciona como un reservorio de nutrientes para el sistema foliar y por ende como un buffer o tapón entre la demanda de evaporación o vapor en la superficie foliar y como fuente de agua del suelo. Los pseudotallos presentan una presión de -0.026 MPa a una profundidad de 20 cm (Kallarackal, Millburn, y Baker, 1990). Esta afirmación indica en la investigación, que al producto ser introducido dentro de la planta por vía directa, se tiene menor pérdida de nutrientes, y que la bomba de vapor arrastra los nutrientes a las partes superiores de la planta.

Uno de los beneficios con los que cuenta la aplicación de fertilizantes avanzados por inyección, es que al inyectar la dosis correcta o el tratamiento

correcto los tonos plasmáticos y membrana plasmática que contiene acuaporinas, se ven estimulados. Según Shaffner en 1998 esto se debe a que los productos incluyen ciertas proteínas que previenen y ayudan al estrés hídrico reteniendo agua y permitiendo el paso de nutrientes a diferentes lados. No se han encontrado publicaciones sobre que los nutrientes puedan usar a las acuaporinas como conductos para llegar al xilema, pero se ha determinado que al fertilizante ya estar dentro de la planta estos se pueden mover en diferentes direcciones debido a diferentes bombas de sodio potasio o calcio. El uso de proteínas anti estrés permite que la fosforilación se dé de manera continua lo que provoca que la actividad de los tonoplastos se vea incrementado.

Es muy importante entender que las formulaciones de estos productos tienen varias proteínas, macro nutrientes, micronutrientes que presentan una sinergia. El uso de ácidos húmicos y fulmicos ayudan a que el suelo se re fertilice y libere nutrientes que no han podido ser absorbidos por la planta debido a que tienen una carga eléctrica de diferentes gradientes. Este caso como el del Nitrógeno, Fósforo y Sulfato son ejemplos claros de que la inyección al sistema vascular de la planta puede evitar el estrés de la planta y de estar forzando a las raíces a buscar alimento. La dosificación paulatina de los nutrientes permite que la planta no entre en depresión y que el metabolismo funcione de mejor manera realizando la absorción de nutrientes y desarrollo de la planta.

Los mecanismos de acción de la toma de nutrientes es necesario, lógicamente los mecanismos esenciales de la planta realizan un almacenamiento de nutrientes y estimulantes como hormonas y vitaminas que se verán liberadas dependiendo de la carga genética de cada tejido que los contenga, también se puede observar que el uso de diferentes combinaciones de productos permitir que la disponibilidad de otros nutrientes se libere (Chrispeels et al, 1999). Como se indica en la interacción de Biofol y biofork, se estima que el hijo reciba la concentración de nutrientes que la madre pierde al ser cosechada y esto potenciará el retorno del hijo. La cuantificación de este retorno será solo posible luego de 9 meses en los cuales las plantas de plátano hayan sido cosechadas y el nuevo fruto enfundado.

4.1.1 Altura de mata madre

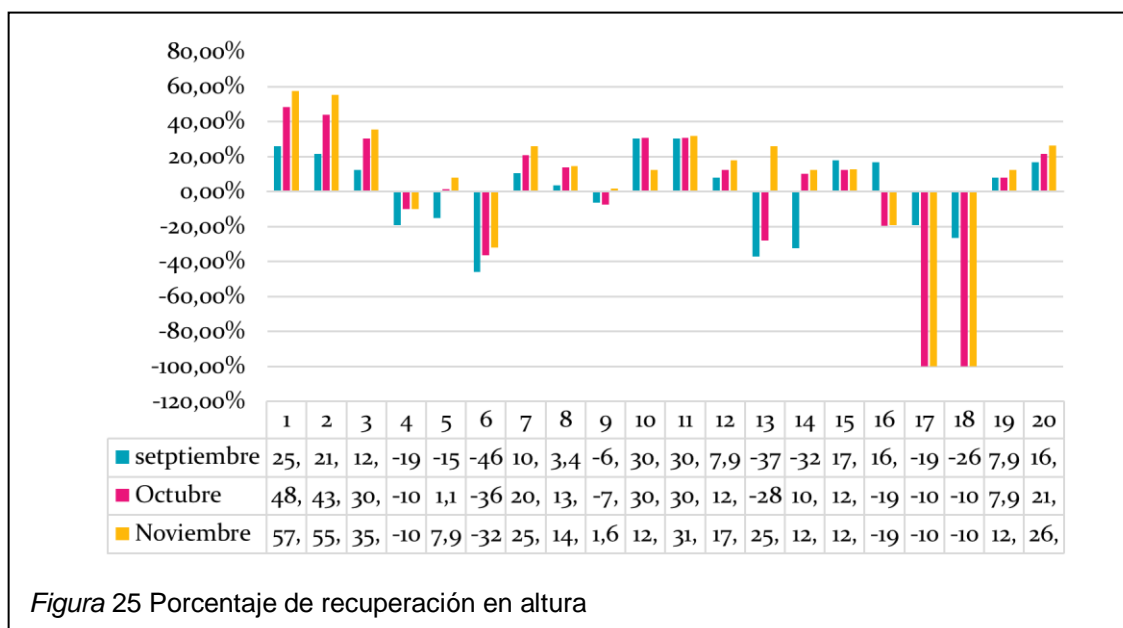


Figura 25 Porcentaje de recuperación en altura

Se comprobó con este caso que a mayor dosis de Biofol la planta presenta una mayor recuperación de altura. Frente a los testigos el tratamiento muestra un incremento de 57 % lo que demuestra que los productos de BIOGENETICAGREEN C.A si funcionan para recuperar plantaciones son síndromes de senescencia. Cabe recalcar que la concentración y dosificación en plantas sobre los 18 cc tiende a quemar la planta debido a la concentración del producto. El producto al ser concentrado con 10 x ^15 veces de unidades formadoras de colonias puede llegar a ocluir el sistema vascular de la planta como el xilema y floema, esto detiene el paso del agua y hace que la planta se seque y muera.

Es importante el observar que las plantas llegan a tener mayor altura ya que esto indica que la planta tiene mayor fototropismo y al correlacionarse con el número de hojas y área foliar, estas tendrán mucha más vigorosidad. El movimiento y circulación de los iones a través de las membranas es un proceso energético fundamental el cual genera energía por medio de la respiración y fotosíntesis.

Como se explicó la motilidad, el transporte activo y las funciones fisiológicas de la planta presentan un almacenamiento de que se encuentra cargado con un potencial electroquímico. Esto permite que los sistemas de transporte

generen diferentes gradientes para cada molécula o grupos de moléculas de la misma carga. Las células de la planta responden a interacciones entre señales ambientales he internas lo cual influencia en los gradientes de protones a lo largo de la membrana plasmática, las bombas de ATPasa de la misma forma se ven involucradas en las respuesta al crecimiento por hormonas, luz, Fito toxinas y estrés ambiental (Sze et al, 1999).

4.1.2 Diámetro de tallo madre

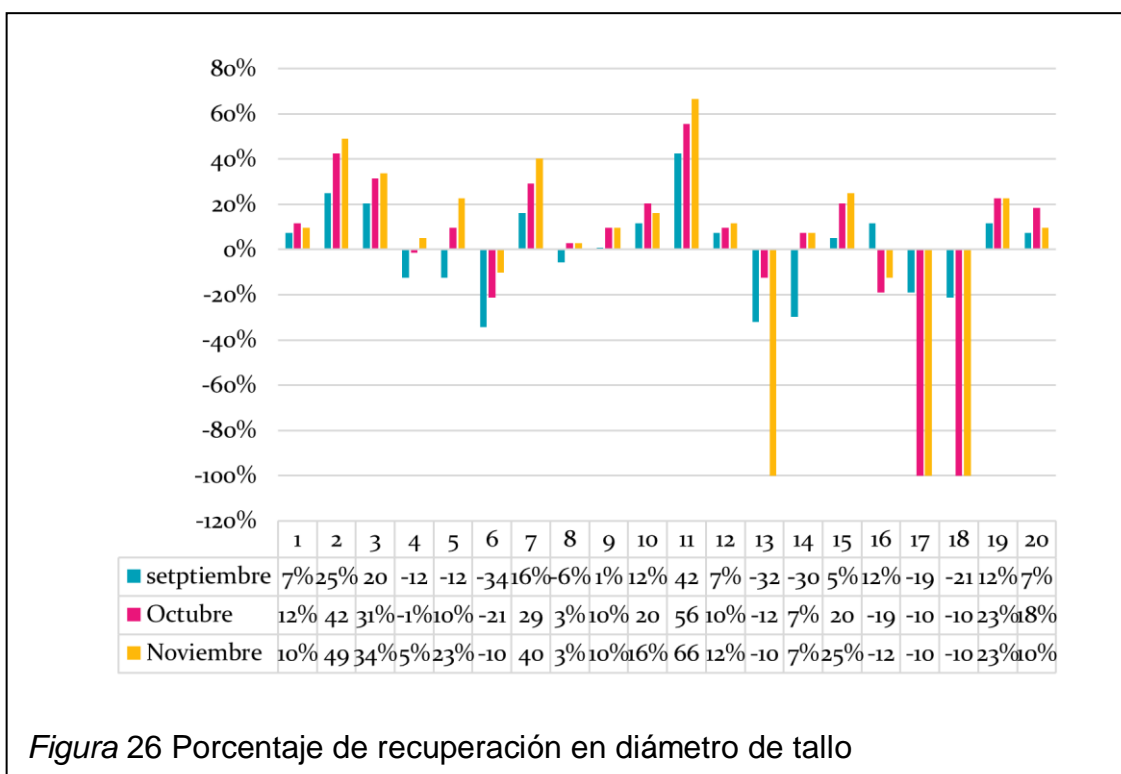


Figura 26 Porcentaje de recuperación en diámetro de tallo

El grosor de tallo varío en las plantas muestreadas, algunas de ellas se vieron afectadas por la concentración en el proceso de inyección. Durante la aplicación del producto se realiza la introducción de una aguja de aproximadamente 4 centímetros dentro del pseudotallo lo que produce una lesión a la planta y quema en cierta forma las capas externas de la misma.

Dependiendo de la dosis aplicada la planta se puede quemar como los sujetos 13, 17 y 18 o presentar resultados que brindan una ayuda para la predicción de manos de cada racimo. En este caso las plantas tuvieron un pico de 66% más de crecimiento de tallo lo cual nos demostró que a los 3 meses de tratamiento el tallo llego a medir más de 75 cm de diámetro. Este cálculo permite valorar

que en el futuro se podrán tener 10 manos , ahora como se observó en campo los racimos que produjeron algunas de las plantas no tuvieron estas características con lo que queda para futuras investigaciones el determinar si el producto por herencia va a brindar este número de manos a la planta hijo y nieto respectivamente. Con esta premisa se puede retomar a las fórmulas de Andersen y Shaffer para determinar manualmente si la producción será la misma que se espera con este sistema.

En este caso como se ha demostrado los resultados que se obtuvieron se han verificado mediante desarrollo morfológico de la planta y no en cómo se ha asimilado dentro de ella. Al inyectar proteínas, nutrientes y bioestimulantes dentro de la planta se tiene que cada molécula toma su camino, como por ejemplo cuando las proteínas llegan a cargarse en los tubos de cebado o tamizado estos puede rápidamente ser transportados a 40 cm/hr traslocándose por toda la planta.

El transporte de proteínas no solo tiene un beneficio en la fertilización si no en la inserción de proteínas en las membranas plasmáticas donde algunas de ellas se pueden anclar a células y complejos de mantenimiento (Kuhn et al, 1997), esto también indica el peligro que se tiene al dejar la herida abierta en la planta ya que virus como el CMV BSV pueden anclarse afectar a la planta incorporándose al AND de la misma.

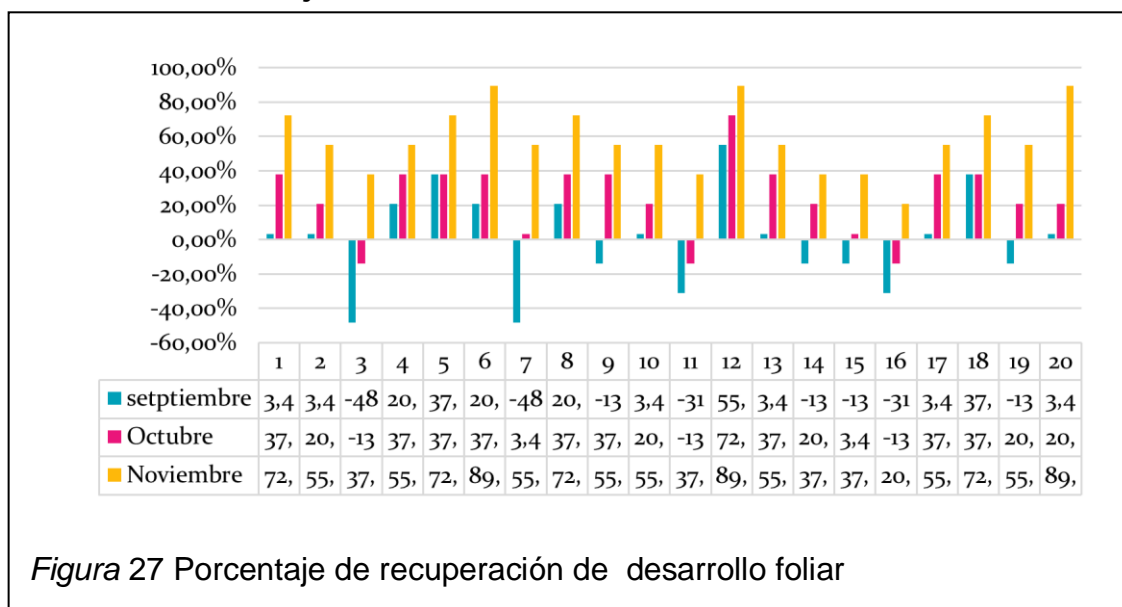
De esta forma, la circulación de los bioestimulantes y fertilizantes por vía directa en las plantas de plátano se verán transportados por diferentes vasos, la estructura de los vasos tiene diversas formas y variedades dependiendo de la especie que se encuentra en análisis, los mecanismos y rutas de acceso donde los solutos se transportan son diversos, desde el tallo hasta el floema de las hojas que es su punto final.

Es importante la vitalidad de la planta ya que necesita transportar azúcares pesados en contra de gradiente y bajo la presión de la turgencia de la planta y por ende bajo la presión que proporcionan las células. Geiger et al en 1973 indicó que los conductos más pequeños como venas menores tiene potenciales

mucho más altos para el transporte que las células de mayor calibre, con esto la absorción de nutrientes por capilaridad es más efectiva. Actualmente se describe que la selección y el tamizado de nutrientes por la planta son seguidos de células acompañantes, lo cual permite que se dé un paso de concentraciones menores a concentraciones mayores por los dos tipos de floemas, el floema apoplástico y el simplástico. En el primero la carga y transporte de azúcares pesados ocurre directamente en el complejo de células acompañantes y de selección de tamizado que se da en el espacio extracelular incluyendo la membrana del plasma del complejo. En la carga simplástica, los azúcares entran directamente por vía de los plasmodesmata (Grusak, Beebe, y Turgeon, 1996).

El floema se caracteriza por transportar una amplia gama de compuestos orgánicos e inorgánicos que también se pueden encontrar en algunas ocasiones en diferentes células. En los tubos de cebado o tamizado en la zona de carga que viene del xilema muchos iones y moléculas logran entrar (Oparka y Turgeon, 1999). La forma de analizar el paso de nutrientes se realiza con soluciones de contraste y análisis nuclear por lo que investigadores como Kemper se especializaron en dichos estudios de fisiología vegetal. Dentro de la planta, cada componente es llevado ó atraído hacia su respectivo equivalente catiónico, y por esta razón la planta asimila los nutrientes de una forma más rápida que al fertilizar los suelos y esperar a que las raíces absorban los fertilizantes.

4.1.3 Número de hojas madre



El análisis de desarrollo foliar es el segundo resultado más cercano a la observación con la demostración de superficies de respuesta, presentando una curvatura indicada para la optimización. En el presente resultado de la investigación el coeficiente de predicción (R^2) es de 0.84 y con este se puede tener la certeza de que la combinación de productos es eficaz para que la planta pueda ganar hasta un 50 % de hojas, esto permite que haya material fotosintético más rápido acelerando el proceso de asimilación de nutrientes por la planta. De la misma forma se puede observar que al aplicar dosis mínimas del producto como concentraciones muy bajas y dosis entre los 15 y 17 ml la planta producirá lo mismo que los testigos y que en ciertos casos no se observaran cambios notorios.

Pese a que se puede encontrar la producción estimada, estos valores se pueden ver afectados por condiciones climáticas y sistemas culturales diferentes, las prácticas culturales en plátano muchas veces depende del lugar donde se encuentra sembrado y el nivel de conocimiento del agricultor. Esta es una de las razones por las cuales el sistema de superficie de respuesta que se desarrolló para esta investigación nos puede brindar valores precisos o áreas de aplicación sobre la influencia que se va a tener en producción y desarrollo morfológico de la planta. Por medio de desglose de fórmulas, como se

encuentra propuesto en el capítulo 2, el uso de este sistema puede ayudarnos a predecir un estimado de las manos a producir en nuestro cultivo (Schaffer y Andersen, 1994).

4.1.4 Área foliar de mata madre

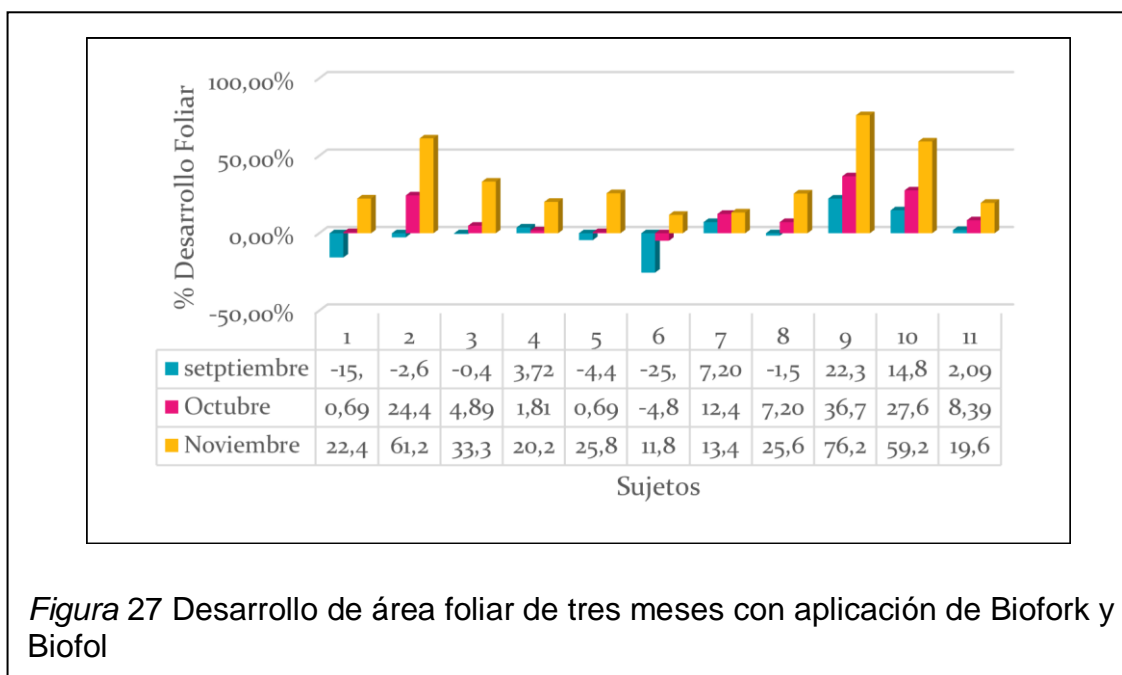


Figura 27 Desarrollo de área foliar de tres meses con aplicación de Biofork y Biofol

En la presente investigación se demostró que la mejor respuesta observada por la metodología de superficie de respuesta fue el desarrollo del área foliar. Esto se debe a que se logró descubrir el mejor valor de la combinación con la cual la respuesta de las plantas va más allá del incremento de área foliar ocurrida en el desarrollo de los testigos sin aplicación de bioestimulantes. En algunos casos el comportamiento de las medidas tomadas en campo que se introducen en el modelo será diferente a lo esperado pero puede ser controlado determinando las mejores condiciones de los niveles para optimizar la salida de estas respuestas.

El área foliar represento el resultado más importante de la investigación ya que no existía indicio de que la combinación de productos iba a afectar directamente al área de las hojas. Por medio de este análisis se pudo optimizar correctamente el tratamiento que se puede utilizar para obtener el 46% más de tamaño de hojas. Esta ventaja que se observa tiene un efecto a gran escala sobre la producción de los racimos, esto demuestra porque los

racimos pueden ser más grandes y la planta florecer más rápido. El aumento de área fotosintética es la clave para que todas las otras variables tengan los resultados que se obtuvieron, se puede observar en las gráficas que en el tercer mes las plantas tienen una carga energética que hace que su desarrollo se dispare. Esto puede verse reflejado en la vigorosidad de la planta, en el color de las hojas aumento del tallo, altura y aumento de azúcares en la fruta.

Se puede corroborar estos resultados con los análisis históricos de la tasa de crecimiento donde el promedio de emisión foliar es de una hoja cada siete días y una planta puede emitir 38 más menos 2 hojas en buenas condiciones. El plátano barraganete produce entre 40 más menos 10 hojas antes de su fructificación, las plantas sin stress llegan a tener 31 hojas y las cuales se ven afectadas con stress llegan a tener 16 hojas fotosintéticas o funcionales.

Monteith en el desarrollo de sus ecuaciones para obtener la productividad de racimos, número de hojas y captación fotosintética determina que todos los factores ambientales deben ser medidos para llegar a un número estimado. No existe información de que el aumento de periodos de fotosíntesis influencia directamente al desarrollo de la flor en musáceas, pero la mayor exposición a la luz aumenta el radio de aparición de las hojas por lo que el tener una mayor área de hoja aumentará el desarrollo foliar. De la misma forma la respuesta al fototropismo se ve influenciado la orientación de racimo (Schaffer y Andersen, 1994).

El pseudotallo se compone de láminas de hojas y peciolo superpuestos los cuales dan la rigidez al mismo. En las musáceas el proceso de iniciación de la inflorescencia no está mediado por fotoperiodos o variación de temperatura como en otras frutas, en este cultivo el fenómeno ocurre por un proceso interno de cambios catiónicos (Schaffer y Andersen, 1994). El pseudotallo funciona como reserva de agua y minerales que serán consumidos por la mañana al realizarse el fenómeno de fotosíntesis, haciendo que las hojas tengan una mayor respuesta al crecimiento y que el diámetro del tallo disminuya en las horas del día (Trelease, 2000).

4.1.5 Grados Brix de fruta

Se pudo observar que los frutos testigos sin fertilización tienen una concentración de sólidos medidos y descritos en grados Brix de un rango de 5 a 9, a diferencia de las frutas que fueron fertilizadas con altas dosis de tratamiento tienen una concentración de sólidos en grados Brix de 10 a 15 lo cual demuestra que los productos usados permiten que la fruta madure más rápido teniendo una cosecha más pronta. La falta de fertilización que se observó en las frutas de menor cantidad de grados Brix es una de las razones para que la floración sea tardía, este retraso lleva al desequilibrio a los agricultores ya que la cosecha no sale en la fecha programada, al contrario que al utilizar los fertilizantes avanzados de BIOGENETICAGREEN C.A, el tiempo de crecimiento disminuye produciendo menor tiempo para obtener un racimo comercial y el retorno. Se observó que los racimos de las plantas tratadas crecieron aceleradamente pero sin llegar a un grado óptimo para la exportación. Este problema se verá solucionado al utilizar el producto en plantas vigorosas y de mejor genética ya que en este ensayo lo que se demuestra es que el producto si recuperó a las plantas que se encontraban en senescencia.



Figura 29 Primer racimo de planta tratada con Bf y Bk

4.2 Análisis de Costos

El plátano barraganete (AAB Paradisiaca) junto al banano (AAA) son el segundo mayor producto fresco de exportación por lo que para el año 2013 llego al 13,13 % sobre el PIB de crudo pesado, periodo en el cual sumó 1.951,6 millones (Revista El Agro, 2014), esto demuestra la importancia de mejorar y tecnificar el cultivo de plátano barraganete para mejorar la capacidad de exportación y aumentar el PIB agrícola del Ecuador. A diferencia de otras especies de frutales, el plátano tiene una actividad ininterrumpida, lo cual permite su desarrollo de fructificación y crecimiento continuo durante todo el año lo que nos permite valorar mucho al tipo de retorno que vamos a tener y el aumento de cortes anuales. La producción actual en la finca Saneli está regida por variables climáticas y edafológicas, pero también por la aplicación inicial con fertilizantes Yaramila, este fertilizante es muy eficaz al utilizarlo durante todo el año, logrando llegar a tener conversiones hasta de 2,6 racimos por caja. El producto se encuentra establecido a un precio comercial de \$40 al por menor y \$30 al por mayor con lo cual se tiene un aplicación de 4 quintales por hectárea dando un coste de fertilización de \$ 360 al año en fertilización inicial más 4 quintales por hectárea de fertilizante completo que se encuentran en los mismos valores dándonos un costo de \$ 720 por ha.

4.2.1 Entrada de Venta por Exportación con Fertilización Tradicional

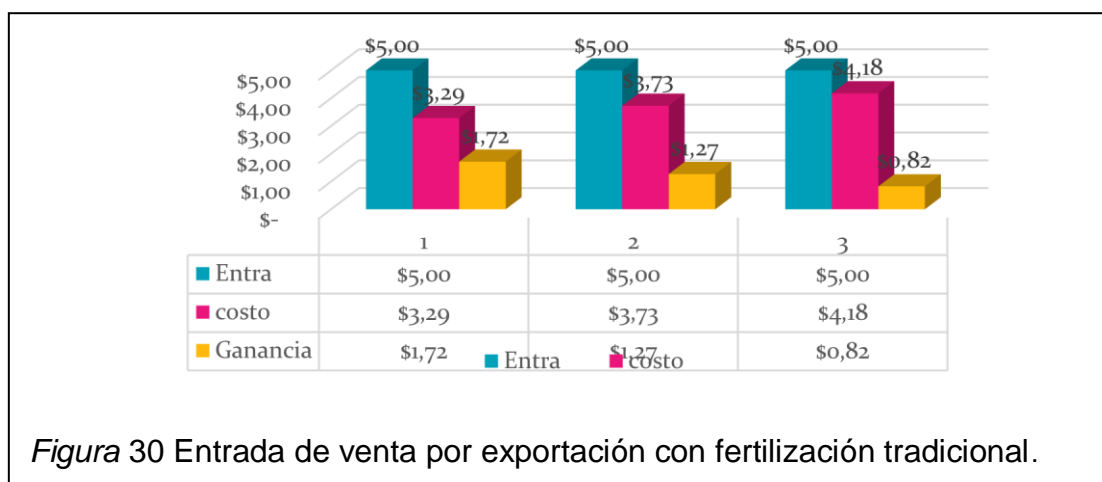


Figura 30 Entrada de venta por exportación con fertilización tradicional.

Tabla 45 Entrada de venta por exportación con fertilización tradicional

| | | Estimado 2016 \$ | Estimado 2015 \$ | Actual Abril 2014 \$ |
|--|------------------------|------------------|------------------|----------------------|
| Descripción | Número fijo de racimos | 1 | 2 | 3 |
| Enfundador | | \$ 0,07 | \$ 0,14 | \$ 0,21 |
| Funda | | \$ 0,06 | \$ 0,11 | \$ 0,17 |
| Abono Inicial 3 Aplicaciones 60g | | \$ 0,32 | \$ 0,64 | \$ 0,96 |
| Abono Completo 2Aplicaciones 60 g | | | | |
| Flete x caja | | \$ 0,30 | \$ 0,30 | \$ 0,30 |
| Hechura de Caja procesada de Exportación x persona | 25 | \$ 0,94 | \$ 0,94 | \$ 0,94 |
| Jornal Afiliado | \$23,50 | | | |
| Fungicida | | \$ 0,10 | \$ 0,10 | \$ 0,10 |
| Cartón exportación | | \$ 1,50 | \$ 1,50 | \$ 1,50 |
| | | | | |
| TOTAL | | \$ 3,29 | \$ 3,73 | \$ 4,18 |
| Embarque semanal | | | | |
| 1 | | | | |
| Costo Caja | | \$ 3,29 | \$ 3,73 | \$ 4,18 |
| Precio por caja | | | | |
| \$ 5,00 | | | | |
| Entrada por venta exportación | | | | |
| | Entra | \$ 5,00 | \$ 5,00 | \$ 5,00 |
| | costo | \$ 3,29 | \$ 3,73 | \$ 4,18 |
| | Ganancia | \$ 1,72 | \$ 1,27 | \$ 0,82 |

Se puede observar que los costos de producción de la caja de exportación es bastante alta y que con respecto al precio que pagan los centros de acopio o varias empresas exportadoras, el precio de \$ 5 dólares americanos no representa una ganancia significativa, ya que se obtiene solo \$.82 ctvs. de dólar por caja vendida, ganancia que se deberá reinvertir en manejos culturales para todo el año dejando al productor sin ganancia.

4.2.2 Entrada de venta por exportación con fertilización avanzada

Tabla 46 Entrada de venta por exportación con fertilización avanzada

| | | Estimado 2016 | Estimado 2015 | Actual Abril 2014 Con BK-BF |
|--|-----------------|----------------|----------------|--------------------------------|
| Descripción | Fijo # racimo | 1 | 2 | 3 |
| Enfundador | | \$ 0,07 | \$ 0,14 | \$ 0,21 |
| Funda | | \$ 0,06 | \$ 0,11 | \$ 0,17 |
| Bk 1 aplicación | | \$ 0,02 | \$ 0,03 | \$ 0,05 |
| Bf 1 aplicación | | \$ 0,02 | \$ 0,03 | \$ 0,05 |
| Flete x caja | | \$ 0,30 | \$ 0,30 | \$ 0,30 |
| Hechura de Caja procesada de Exportación x persona | 25 | \$ 0,94 | \$ 0,94 | \$ 0,94 |
| Jornal Afiliado | \$ 23,50 | | | |
| Fungicida | | \$ 0,10 | \$ 0,10 | \$ 0,10 |
| Cartón exportación | | \$ 1,50 | \$ 1,50 | \$ 1,50 |
| TOTAL | | \$ 3,00 | \$ 3,16 | \$ 3,32 |
| Embarque semanal | | | | |
| 1 | | | | |
| Costo Caja | | \$ 3,00 | \$ 3,16 | \$ 3,32 |
| Precio por caja | | | | |
| \$ 5,00 | | | | |
| Entrada por venta exportación | | | | |
| | Entra | \$ 5,00 | \$ 5,00 | \$ 5,00 |
| | costo | \$ 3,00 | \$ 3,16 | \$ 3,32 |
| | Ganancia | \$ 2,00 | \$ 1,84 | \$ 1,69 |

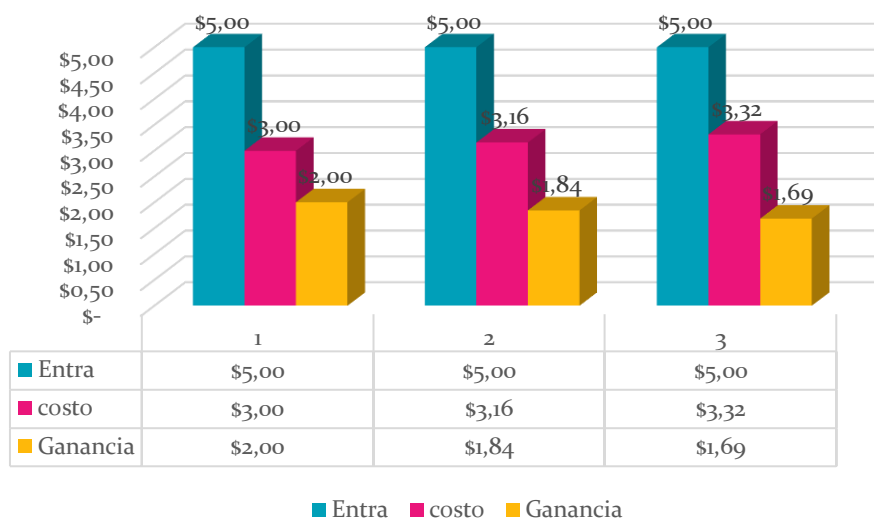


Figura 31 Entrada de venta por exportación con fertilización avanzada

En la figura 31 se puede observar que la entrada por venta de exportación sigue siendo igual pero que la optimización de gasto en fertilización es elevada. La inversión por mata que se realiza es de \$0.10 ctvs., lo cual brinda un ahorro del doble al productor. Mientras que en el caso de la fertilización tradicional se obtenía \$0.84 ctvs. con el uso de fertilizantes avanzados en inyección se puede obtener \$1.69 dólares americanos por caja de exportación, con esta metodología el operario que aplica el producto puede avanzar 4 hectáreas por día.

Tabla 47 Resultado de mejores combinaciones por respuesta estadística

| | BF (ml) | BK (X) | R² ><1 | Mejoramiento de desarrollo | Unidad |
|------------------------|----------------|---------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| Altura % | 19.15 | 5 | 0.77 | 25 | % |
| Tallo% | 15 | 5 | 0.81 | 20 | % |
| Numero de hojas | 16.02 | 4.89 | 0.84 | 20 | % |
| Área foliar | 14.65 | 4.87 | 0.89 | 46 | % |
| Grados brix | 12.5 | 6.5 | 0.70 | 10-12 | o |

ml: Mililitros X: Concentración de microorganismos R²: Criterio de valoración de la capacidad de explicación de los modelos de regresión.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Se logró adaptar y validar el modelo de superficies de respuesta en el análisis de la predicción de efectos para el área foliar, variabilidad de grados Brix, altura de la planta, diámetro del tallo y desarrollo foliar. En las variables analizadas la optimización tuvo una mejor respuesta hacia el área foliar con lo que se comprueba que el tratamiento número 1 el cual es la combinación de 15 ml de Biofol y 5 ml a una concentración 9.2 X de Biofol tiene un efecto del 46% más de desarrollo foliar. De esta misma forma se puede validar el uso de los productos de BIOGENETICAGREEN C.A como fertilizantes avanzados para la recuperación de plantas que tienen retraso en su producción y crecimiento. El modelo de superficie de respuesta es una herramienta de alta calidad ya que se puede aplicar para la interacción de dos factores en más áreas de la agricultura y que debería ser utilizada para más análisis ya que muestra su eficiencia al obtener y comprobar resultados de campo.

La mayoría de investigaciones se encuentran ligados al uso de algún software de análisis de suelos o análisis de tejidos. Estas investigaciones generalmente son enfocadas en interacción de proteínas, minerales y otras moléculas secuenciadas. Programas escritos en lenguaje C++ como Perl, R, o My SQL son herramientas básicas en los cuales se descubrió en esta investigación que el análisis matemático por superficie de respuesta es simplemente el algoritmo o parte del algoritmo que se utiliza para proporcionar las combinaciones automáticas en el software para análisis de fertilización (Bessant et al, 2009).

2. Se logró estandarizar el sistema de fertilización avanzada mediante inyección al sistema vascular, el cual debe ser aplicado en el ángulo correcto de 45 a 60 grados y con la espera de 3 segundos para que no

se pierda producto. Este método de inyección debe ser enseñado a los operarios que van a aplicar el producto para tener menos desperdicio y que la planta no sufra lesiones posteriores por negligencia.

3. Se evaluaron 5 variables de estudio donde las respuestas más significativas fueron el área foliar, desarrollo foliar, grados Brix y grosor del tallo. Estas variables fueron elegidas estratégicamente para poder medir el retorno que se va a tener las siguientes cosechas. El área foliar al presentar más espacio fotosintético demostró que es el causal para que las otras variables se desarrollen mejor y con más vigorosidad. También se observó que el material ceroso de las hojas fue mayor dándole más resistencia y aumento de color verde lo que indica mayor cloroplastos y por ende mayor respuesta en la fotosíntesis.
4. Se analizó los gastos en fertilización que presentan los productores de plátano de exportación en la zona del cuarenta de El Carmen de Manabí, donde se obtuvo que en fincas como San Vicente, Camila, Saneli y Guaynero el costo de fertilización supera los \$ 700 dólares por hectárea. Este gasto es muy alto dejando a los productores con ganancias poco rentables lo cual elimina el estímulo de cultivar plátano. Con esta investigación se puede demostrar que al utilizar productos de fertilización avanzada hacia el sistema vascular de la planta de BIOGENETICABREEN C.A el costo se reducirá a un % 3.14 bajando % %96.86 en gastos de fertilización. Para la aplicación del producto solo se necesita utilizar el método señalado en esta investigación que resulta en una inversión de \$60 dólares americanos para conseguir una pistola automática de dosificación y la inyección respectiva más los productos que se vayan a inyectar.

5.2 Recomendaciones

1. Los productos Biofol y Biofork muestran una ayuda significativa en la recuperación de plantas de plátano, las cuales se verían con mayor respuesta a los productos si fueran manejadas con semi tecnificación. Las plantas al ganar más altura y área foliar se vuelven más propensas a caer por la fuerza del viento lo cual nos indica que si las plantas fueran apuntaladas o amarradas estas presentarían mayor vigorosidad. Se observó en plantaciones de banano Musa AAA que al ser lugares tecnificados con drenajes, apuntalamiento y riego esto permite que las matas tengan un aumento de tallo y vigorosidad brindando mayor cantidad de clúster que en el caso del plátano, manejar las fincas de esta forma nos brindaría un mayor beneficio y obteniendo mayor cantidad de manos y aumento de calibre de los dedos de exportación.
2. En vista de que la alimentación que se le brinda a la planta es de alta calidad, la cantidad de biomasa se ve desarrollada en menos tiempo lo que permitirá que el productor coseche más rápido. Se recomienda que para futuras investigaciones se analice la residualidad de producto en el hijo de la planta y el nieto. Con esto se podrá determinar que el producto es sistémico y que cada año como se muestra en el estudio de costos y beneficios, se podrá utilizar menos racimos por caja dando una conversión en el primer año de 2 racimos a caja y en el 3 año 1 racimo a caja lo cual sería el punto más alto en la producción de plátano ya que se llegaría a poder obtener hasta 2000 cajas por hectárea triplicando la producción actual del mercado ecuatoriano.
3. Como se observó en esta investigación el método de aplicación de fertilizantes avanzados puede verse mejorado por la genética de las plantas a tratar y la buena aclimatación de los suelos. Al utilizar estos productos más el manejo de suelos adecuados, la planta podrá utilizar la mecánica de su sistema fotosintético como bomba de succión para obtener nutrientes del suelo, esto aumentado ya que los componentes

quelatados liberarán minerales y metales que se encuentran atrapados en el suelo.

4. Se recomienda tratar las plantas de plátano con bioestimulantes y fertilizantes avanzados para obtener mayor resistencia a patógenos y virus. La evolución que están teniendo los hongos como el fusarium raza 4 nos pone en alerta para mejorar nuestros manejos de fincas, mejorar nuestras prácticas agrícolas y de la misma forma para levantar la problemática de costos y precios de exportación a las entidades de regulación que no hacen uso de la información de los agricultores para fijar los precios que deben ser pagados.

REFERENCIAS

- Angulo, V. (2007). *Manual de Instrucciones para Ejecutar los Labores Agrícolas en Banano Organico*. Guayaquil - Ecuador.
- Arias, C., y Toledo, J. (2014). Food and Agriculture. *FAO*.
- Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes. (2013). *Necesidades de Investigacion en el Sector de la Fertilizacion*. España.
- Barcia, C., Fernández, M., y Piñeiro, M. (2011). *Ciencia Experimental- Cultivo Plátano*. Costa Rica.
- Benton, J. (2001). *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. Florida: CRC Press.
- Bessant, C., Shadforth, I., y Oakley, D. (2009). *Building Bioinformatics Solutions with Perl, R and My SQL*. Boston: Oxford University Press.
- Box, G., Hunter, S., y Hunter , W. (2009). *Statistics for Experimenters*. John Wiley and Sons.
- Cámara, M. S., De Zan, M. M., Vera Candiotti, L., y Goicoechea, H. (Mayo de 2013). *Tópicos de Quimiometría, Diseño Experimental y Optimizacion de Sistemas con Multiples Respuestas*. Uruguay, Uruguay: Universidad Nacional del Litoral.
- Carrillo, M. (2013). *Requerimientos de Suelo en Platano*. El Carmen, Manabi, Ecuador.
- Chrispeels, M. J., Crawford, N. M., y Schoreder, J. (1999). *Proteins for Transport of Water and Mineral Nutrients across the Membranes of Plant Cells*. San Diego CA: Departamento de biologia, Universidad de California.
- DANE, SIPSA, Min Agricultura . (2014). El cultivo del plátano (Musa paradisiaca), un importante alimento para el mundo. *Boletin Insumos y Factores Asociados a la Produccion Agropecuaria*. .
- Dole. (2015). Nutrition facts fresh fruits plantains. *Plantains*.
- Espinoza, J., Belalcazar, S., Chacon, A., y Suarez, D. (1995). Fertilización del plátano en densidades altas. *CORPOICA*.
- Finck, A. (1988). *Fertilizantes y Fertilizacion*. Barcelona: Reverté S.A.
- Fundación Erosky Coop. (2014). *Plátano*. Bilbao.

- Gonzales, M. (2015). Obtención de un fertilizante de liberación lenta y controlada. *Greenstone*.
- Gowen, S. (2012). *Bananas and Plantains*. Londres: Chapman & Hall.
- Grusak, M. A., Beebe, D. U., y Turgeon, R. (1996). *Phloem loading. In Photoassimilate Distribution in Plants and Crops: Source-Sink Relations, E. Zamski and A.A Shaffer*. New York: Marcel Dekker.
- INIAP. (2015). *Manejo Ecológico del picudo negro en plátano*. Guayaquil : INIAP.
- Instituto nacional de estadísticas y censos. (2015). *Encuesta de superficie y de producción agropecuaria continua*. Quito: Unidad de Estadísticas Agropecuarias.
- Junejo, I. (2011). A Technical Guide Book of Banana. *Sindh Enterprise Development Fund*.
- Kallarackal, J., Millburn, J. A., y Baker, D. A. (1990). *Water restraints of the banana. 3. Effects of the controlled water stress on water potential, transpiration, photosynthesis and leaf growth*. Australia: Australian Journal of Plant Physiology.
- Khuri, A. I. (1987). *RESPONSE SURFACES. DESIGN AND ANALYSES*. New York: Marcel Dekker.
- Khuri, A., y Cornell, J. (1996). *Response Surface, Design and Analyses*. Marcel Dekker, Inc.
- Kuehl, R. O. (2000). Diseños de Superficie de Respuesta . En R. O. Kuehl, *Diseño de Experimentos* (págs. 423,424). Arizona: Thomson Learning.
- Kuhn, C., Franceschi, V., Schulz, A., Lemoine, R., y Frommer, W. (1997). *Macromolecular trafficking indicated by localization and turnover of sucrose transporters in enucleated sieve elements*. Science.
- Lalanne, C. (2005). R Companion to Montgomery's Design and Analysis of Experiments.
- Meteored. (2014). *Situación meteorológica de El Carmen- Ecuador*. Manabí.
- Ministerio de Agricultura de República Dominicana. (2015). THRIPS (HERCINOTHRIPS FEMORALIS). *Plagas y Enfermedades del Plátano*.
- Molina, E., y Meléndez , G. (2002). *Fertilización Foliar. Principios y Aplicaciones*. . Costa Rica: Centro de Investigaciones Agronómicas. .

- Municipio Manabí. (2014). *El Carmen- Ecuador*. Manabí: Gobierno Provincial de Manabí.
- Oparka, K. J., y Turgeon, R. (1999). *Sieve Elements and Companion Cells—Traffic Control Centers of the Phloem*. New York: American Society of Plant Physiologists.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1991). *Raíces Tuberculos Platanos y Bananas*. Roma: David Dublin.
- Peláez Pur , B. L. (07 de 2009). Determinacion de la velocidad de formacion de Sacarosa en el almacenaje del platano (Musa paradisiaca, variedad Curraré) cultivar AAB en una bodega de materia prima a temperatura ambiente. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala Facultad de Ingenieria, Escuela de Ingenieria Quimica.
- Quinn, G., y Keough, M. (2002). *Experimental Design and Data Analysis for Biologist*. En Kvalseth.T. Cambridge: Cambridge University Press.
- Raghavendra, A. S. (2000). *Photosynthesis A Comprehensive Treatise*. Cambridge: University of Cambridge.
- Revista El Agro. (2014). El agro mejora sus indicadores de comercio. *El Agro*.
- Romo-Leroux, P. (20 de 05 de 2014). Bio fol y Bio For K. (P. L. Molina, Entrevistador)
- Schaffer , B., y Andersen, P. (1994). *Enviromental Physiology of Fruit Crops Volume II*. Boca Raton: CRC Press, Inc.
- SINIGAP. (2012). *Reporte de Resultados Censo Nacional Completo en excel*. Quito: MAGAP.
- Smart - Fertilizer. (2015). Los Fertilizantes Quelatos y su Uso. *Growing Intelligently*.
- Sze , H., Li, X., y Palmgren, M. (1999). *Energization of Plant Cell Membranes by H⁺-Pumping ATPases: Regulation and Biosynthesis*. Meryland & Dinamarca: American Society of Plant Physiologists.
- Thronley Norman, M. J., Pearson, C. J., y Searle, P. G. (1995). *The Ecology of Tropical Food Crops*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Toapanta, J.(2003). *Efecto de la Fertilizacion y Altas Densidades de Plantas Sobre el Rendimiento del Cultivo de Platano, en la Zona de Quevedo*. Quito: INIAP.
- Traxco. (2011). *Fertilizantes de Liberacion Lenta*. Zaragoza: Traxco S.A.

Trelease, S. (2000). *Night and day rates of enlongation of banana leaves*, *Philippine Journal of Science*. London: Longmans.

Ulloa, S., Tumbaco, J., Patiño , M., y Tumbaco, A. (2012). *Grupo de Investigación en Cultivos Tropicales*. Santo Domingo: EDI-ESPE.

ANEXOS

ANEXO 1

Comparación de medidas mensuales.

Altura de Plantas

| Septiembre | | | Octubre | | | Noviembre | | | Promedios |
|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|---------------|--------|--------|-----------|
| % Crecimiento | Altura | | % crecimiento | Altura | | % crecimiento | Altura | | |
| 1,26 | 0,26 | 280,00 | 1,48 | 0,48 | 330,00 | 1,57 | 0,57 | 350,00 | 0,44 |
| 1,21 | 0,21 | 270,00 | 1,44 | 0,44 | 320,00 | 1,55 | 0,55 | 345,00 | 0,40 |
| 1,12 | 0,12 | 250,00 | 1,30 | 0,30 | 290,00 | 1,35 | 0,35 | 301,00 | 0,26 |
| 0,81 | -0,19 | 180,00 | 0,90 | -0,10 | 200,00 | 0,90 | -0,10 | 200,00 | -0,13 |
| 0,85 | -0,15 | 189,00 | 1,01 | 0,01 | 225,00 | 1,08 | 0,08 | 240,00 | -0,02 |
| 0,54 | -0,46 | 120,00 | 0,63 | -0,37 | 141,00 | 0,68 | -0,32 | 151,00 | -0,38 |
| 1,11 | 0,11 | 246,00 | 1,21 | 0,21 | 269,00 | 1,26 | 0,26 | 280,00 | 0,19 |
| 1,03 | 0,03 | 230,00 | 1,14 | 0,14 | 253,00 | 1,15 | 0,15 | 255,00 | 0,11 |
| 0,94 | -0,06 | 208,00 | 0,93 | -0,07 | 206,00 | 1,02 | 0,02 | 226,00 | -0,04 |
| 1,30 | 0,30 | 290,00 | 1,31 | 0,31 | 291,00 | 1,12 | 0,12 | 250,00 | 0,25 |
| 1,30 | 0,30 | 290,00 | 1,31 | 0,31 | 291,00 | 1,32 | 0,32 | 293,00 | 0,31 |
| 1,08 | 0,08 | 240,00 | 1,12 | 0,12 | 250,00 | 1,18 | 0,18 | 262,00 | 0,13 |
| 0,63 | -0,37 | 140,00 | 0,72 | -0,28 | 160,00 | 1,26 | 0,26 | 280,00 | -0,13 |
| 0,67 | -0,33 | 150,00 | 1,10 | 0,10 | 245,00 | 1,12 | 0,12 | 250,00 | -0,03 |
| 1,18 | 0,18 | 262,00 | 1,12 | 0,12 | 250,00 | 1,13 | 0,13 | 251,00 | 0,14 |
| 1,17 | 0,17 | 260,00 | 0,80 | -0,20 | 179,00 | 0,81 | -0,19 | 180,00 | -0,07 |
| 0,81 | -0,19 | 180,00 | 0,00 | -1,00 | | 0,00 | -1,00 | | -0,73 |
| 0,73 | -0,27 | 163,00 | 0,00 | -1,00 | | 0,00 | -1,00 | | -0,76 |
| 1,08 | 0,08 | 240,00 | 1,08 | 0,08 | 240,00 | 1,12 | 0,12 | 250,00 | 0,09 |
| 1,17 | 0,17 | 260,00 | 1,21 | 0,21 | 270,00 | 1,26 | 0,26 | 281,00 | 0,22 |
| | | 222,40 | | | | | | | |

ANEXO 2

Tallo Madre

| Septiembre | | | Octubre | | | Noviembre | | |
|---------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| % Crecimiento | | Tallo madre | % Crecimiento | | Tallo Madre | % Crecimiento | | Tallo Madre |
| 1,0734 | 0,0734 | 49,0000 | 1,1172 | 0,1172 | 51,0000 | 1,0953 | 0,0953 | 50,0000 |
| 1,2486 | 0,2486 | 57,0000 | 1,4239 | 0,4239 | 65,0000 | 1,4896 | 0,4896 | 68,0000 |
| 1,2048 | 0,2048 | 55,0000 | 1,3143 | 0,3143 | 60,0000 | 1,3363 | 0,3363 | 61,0000 |
| 0,8762 | - 0,1238 | 40,0000 | 0,9858 | - 0,0142 | 45,0000 | 1,0515 | 0,0515 | 48,0000 |
| 0,8762 | - 0,1238 | 40,0000 | 1,0953 | 0,0953 | 50,0000 | 1,2267 | 0,2267 | 56,0000 |
| 0,6572 | - 0,3428 | 30,0000 | 0,7886 | - 0,2114 | 36,0000 | 0,8981 | - 0,1019 | 41,0000 |
| 1,1610 | 0,1610 | 53,0000 | 1,2924 | 0,2924 | 59,0000 | 1,4020 | 0,4020 | 64,0000 |
| 0,9419 | - 0,0581 | 43,0000 | 1,0296 | 0,0296 | 47,0000 | 1,0296 | 0,0296 | 47,0000 |
| 1,0077 | 0,0077 | 46,0000 | 1,0953 | 0,0953 | 50,0000 | 1,0953 | 0,0953 | 50,0000 |
| 1,1172 | 0,1172 | 51,0000 | 1,2048 | 0,2048 | 55,0000 | 1,1610 | 0,1610 | 53,0000 |
| 1,4239 | 0,4239 | 65,0000 | 1,5553 | 0,5553 | 71,0000 | 1,6648 | 0,6648 | 76,0000 |
| 1,0734 | 0,0734 | 49,0000 | 1,0953 | 0,0953 | 50,0000 | 1,1172 | 0,1172 | 51,0000 |
| 0,6791 | - 0,3209 | 31,0000 | 0,8762 | - 0,1238 | 40,0000 | 0,0000 | - 1,0000 | |
| 0,7010 | - 0,2990 | 32,0000 | 1,0734 | 0,0734 | 49,0000 | 1,0734 | 0,0734 | 49,0000 |
| 1,0515 | 0,0515 | 48,0000 | 1,2048 | 0,2048 | 55,0000 | 1,2486 | 0,2486 | 57,0000 |
| 1,1172 | 0,1172 | 51,0000 | 0,8105 | - 0,1895 | 37,0000 | 0,8762 | - 0,1238 | 40,0000 |
| 0,8105 | - 0,1895 | 37,0000 | 0,0000 | - 1,0000 | | 0,0000 | - 1,0000 | |
| 0,7886 | - 0,2114 | 36,0000 | 0,0000 | - 1,0000 | | 0,0000 | - 1,0000 | |
| 1,1172 | 0,1172 | 51,0000 | 1,2267 | 0,2267 | 56,0000 | 1,2267 | 0,2267 | 56,0000 |
| 1,0734 | 0,0734 | 49,0000 | 1,1829 | 0,1829 | 54,0000 | 1,0953 | 0,0953 | 50,0000 |
| | | 45,6500 | | | | | | |

ANEXO 3

Desarrollo Foliar

| Septiembre | | | Octubre | | | Noviembre | | |
|---------------|---------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|--------|---------------|
| % crecimiento | | # hojas madre | % crecimiento | | # hojas madre | % crecimiento | | # hojas madre |
| 103% | 3,45% | 6 | 138% | 37,93% | 8 | 172% | 72,41% | 10 |
| 103% | 3,45% | 6 | 121% | 20,69% | 7 | 155% | 55,17% | 9 |
| 52% | -48,28% | 3 | 86% | -13,79% | 5 | 138% | 37,93% | 8 |
| 121% | 20,69% | 7 | 138% | 37,93% | 8 | 155% | 55,17% | 9 |
| 138% | 37,93% | 8 | 138% | 37,93% | 8 | 172% | 72,41% | 10 |
| 121% | 20,69% | 7 | 138% | 37,93% | 8 | 190% | 89,66% | 11 |
| 52% | -48,28% | 3 | 103% | 3,45% | 6 | 155% | 55,17% | 9 |
| 121% | 20,69% | 7 | 138% | 37,93% | 8 | 172% | 72,41% | 10 |
| 86% | -13,79% | 5 | 138% | 37,93% | 8 | 155% | 55,17% | 9 |
| 103% | 3,45% | 6 | 121% | 20,69% | 7 | 155% | 55,17% | 9 |
| 69% | -31,03% | 4 | 86% | -13,79% | 5 | 138% | 37,93% | 8 |
| 155% | 55,17% | 9 | 172% | 72,41% | 10 | 190% | 89,66% | 11 |
| 103% | 3,45% | 6 | 138% | 37,93% | 8 | 155% | 55,17% | 9 |
| 86% | -13,79% | 5 | 121% | 20,69% | 7 | 138% | 37,93% | 8 |
| 86% | -13,79% | 5 | 103% | 3,45% | 6 | 138% | 37,93% | 8 |
| 69% | -31,03% | 4 | 86% | -13,79% | 5 | 121% | 20,69% | 7 |
| 103% | 3,45% | 6 | 138% | 37,93% | 8 | 155% | 55,17% | 9 |
| 138% | 37,93% | 8 | 138% | 37,93% | 8 | 172% | 72,41% | 10 |
| 86% | -13,79% | 5 | 121% | 20,69% | 7 | 155% | 55,17% | 9 |
| 103% | 3,45% | 6 | 121% | 20,69% | 7 | 190% | 89,66% | 11 |
| | | 5,8 | | | | | | |

ANEXO 4

Área Foliar

| Septiembre | | | | | Octubre | | | | | Noviembre | | | | |
|------------------|----------|------------------|------|-------------|---------------|---------|------------------|----|------------|---------------|--------|------------------|----|------------|
| % crecimiento | | Área foliar cm 2 | | | % crecimiento | | Área foliar cm 2 | | | % crecimiento | | Área foliar cm 2 | | |
| | | Largo Ancho Área | | | | | Largo Ancho Área | | | | | Largo Ancho Área | | |
| 84% | - 15,64% | 178 | 61 | 8686,4 | 101% | 0,69% | 180 | 72 | 10368 | 122% | 22,42% | 202 | 78 | 12604,8 |
| 97% | - 2,65% | 179 | 70 | 10024 | 124% | 24,44% | 208 | 78 | 12812,8 | 161% | 61,22% | 250 | 83 | 16600 |
| 100% | - 0,47% | 183 | 70 | 10248 | 105% | 4,89% | 180 | 75 | 10800 | 133% | 33,33% | 220 | 78 | 13728 |
| 104% | 3,72% | 178 | 75 | 10680 | 102% | 1,81% | 182 | 72 | 10483,2 | 120% | 20,25% | 201 | 77 | 12381,6 |
| 96% | - 4,45% | 172 | 71,5 | 9838,4 | 101% | 0,69% | 180 | 72 | 10368 | 126% | 25,83% | 205 | 79 | 12956 |
| 75% | - 25,41% | 160 | 60 | 7680 | 95% | - 4,82% | 175 | 70 | 9800 | 112% | 11,88% | 200 | 72 | 11520 |
| 107% | 7,20% | 189 | 73 | 11037,6 | 112% | 12,46% | 193 | 75 | 11580 | 113% | 13,44% | 200 | 73 | 11680 |
| 98% | - 1,56% | 181 | 70 | 10136 | 107% | 7,20% | 189 | 73 | 11037,6 | 126% | 25,63% | 210 | 77 | 12936 |
| 122% | 22,37% | 200 | 75 | 12600 | 137% | 36,74% | 220 | 80 | 14080 | 176% | 76,21% | 270 | 84 | 18144 |
| 115% | 14,80% | 197 | 75 | 11820 | 128% | 27,67% | 208 | 79 | 13145,6 | 159% | 59,28% | 250 | 82 | 16400 |
| 102% | 2,09% | 180 | 73 | 10512 | 108% | 8,39% | 186 | 75 | 11160 | 120% | 19,65% | 200 | 77 | 12320 |
| Promedios | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 10296,58182 | | | | | 11421,3818 | | | | | 13751,8545 |